

公益社団法人国土緑化推進機構
「緑と水の森林ファンド」事業助成

地球温暖化に伴う山地災害の変化予測と
治山施設の適正配置及び機能強化に関する調査研究

令和2年度報告書

令和3年6月

公益社団法人 森林・自然環境技術教育研究センター

はじめに

本報告書は、森林保全・管理技術研究開発委員会 治山施設部会において平成30年度から3ヵ年で進めてきた、地球温暖化に伴う山地災害の変化予測と治山施設の適正配置及び機能強化に関する調査研究の成果をとりまとめたものである。

我が国の国土の約7割を占める森林は、急峻な地形や脆弱な地質の上に存在していることに加え、梅雨や台風等による集中豪雨に見舞われやすい気象等の条件下にある。このような条件下において、森林の維持造成を通じて山地災害から国民の生命・財産を保全することを目的に実施される治山事業は、重要な国土保全政策の一つである。この取組の歴史は長く、治山事業により整備された施設は、山地災害による被害軽減に大きく貢献してきた。

一方、近年、地球温暖化の影響により過去の観測記録を上回るような異常な豪雨が頻繁に発生するようになり、そのたびに全国各地で激甚な山地災害が発生している。さらに最近の自然環境や社会環境の変化の影響により、山地災害の形態も変化しつつある。

平成25年（2013年）に公表された気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書では、地球温暖化により極端な降水がより強く、頻繁となる可能性が非常に高いことなどが指摘されており、山地災害の発生リスクは、今後更に高まっていくことが予想される。

このような背景を踏まえ、本調査研究では、今後の降雨の増加に伴う山地における斜面崩壊や土砂・流木の流出の形態の変化予測、台風の風速が増すことによる風倒木災害の発生予測とそれに対応するための治山施設の適正配置と新設治山施設の機能強化についての提言を行なった。

本報告書の内容が、今後の地球温暖化に伴う山地災害の変化に対応した治山施設の適正配置及び機能強化を検討する上での一助となれば幸いである。

令和3年6月

森林保全・管理技術研究開発委員会

治山施設部会

目 次

1. 調査研究概要	1
1. 1 調査研究目的	1
1. 2 全体計画	1
1. 2. 1 調査研究内容	1
1. 2. 2 調査研究の進め方	2
1. 3 各年度で実施した調査研究内容	3
1. 4 部会および委員会の開催状況	5
1. 5 報告書の概要	8
1. 5. 1 山地災害と治山施設の実態調査及びアンケート結果	8
1. 5. 2 山地災害と治山施設の実態調査結果の分析	8
1. 5. 3 気候変動に伴う山地災害の現状と課題	8
1. 5. 4 関連分野での新しい技術の利用に関する現状と課題の整理	8
1. 5. 5 気候変動に伴う気象現象の予測手法と対応	9
1. 5. 6 斜面崩壊の発生と規模に関する変化予測と対応	9
1. 5. 7 土砂・流木の流出形態の変化予測とその対応	9
1. 5. 8 風倒木災害の発生予測とその対応	10
1. 5. 9 治山施設の適正配置と機能強化に対する検討	10
2. 山地災害と治山施設の実態調査及びアンケート結果	11
2. 1 山地災害と治山施設の実態調査結果	11
2. 1. 1 近年（過去 20 年程度）の山地災害(斜面崩壊, 地すべり, 土石流, 風倒木等)の概況	11
2. 1. 2 近年発生した山地災害の個別情報	18
2. 2 治山事業における新技術利用の実態調査結果	24
3. 山地災害と治山施設の実態調査結果の分析	25
3. 1 治山事業としての風倒木災害対策	25
3. 2 保全対象の重要度を考慮した治山事業	26
3. 3 近年発生した山地災害情報の分析	27
3. 3. 1 24 時間雨量と土砂量の関係	27
3. 3. 2 治山施設と最寄りの保全対象との距離の関係	29
4. 気候変動に伴う山地災害の現状と課題	32
4. 1 気象観測システム及び気象予報システムの現状	32
4. 1. 1 気象観測システム	32
4. 1. 2 XRAIN (国土交通省)	33
4. 1. 3 都道府県の河川情報システム	34
4. 1. 4 近年の台風の発生状況	34
4. 1. 5 近年の豪雨の発生状況	36
4. 1. 6 近年の線状降水帯の発生状況	38

4. 2 治山分野における降雨解析（辻本 浩史）	41
4. 2. 1 治山分野における降雨解析の重要性.....	41
4. 2. 2 雨の観測	41
4. 2. 3 レーダ雨量による解析	43
4. 3 気候変動に伴う気象現象の予測手法の現状と課題	45
4. 3. 1 極値解析の課題と改良手法—異常豪雨を考慮した極値解析	45
4. 3. 2 極値解析の課題と改良手法—気候変動（ランダム性の経年変化）を考慮した極値解析の例	49
4. 3. 3 極値解析の課題と改良手法—ノンパラメトリック手法による極値データ解析	50
4. 3. 4 夏期降水量や年間降水量を用いた最大降水量（1day,1hour）の予測手法.....	52
4. 4 地球温暖化による豪雨規模等の災害外力の変化について（執印康裕）	54
4. 5 気象変動に関連した近年の特異な土砂災害の現状	58
4. 6 土砂移動の誘因である豪雨の実態と長期的な変化（土屋 智）	62
4. 6. 1 はじめに	62
4. 6. 2 「平成 30 年 7 月豪雨」に伴う岐阜県郡上市における土砂流出.....	62
4. 6. 3 アメダス資料による降水量の推移.....	65
4. 6. 4 おわりに	70
4. 7 豪雪地帯における積雪環境の変動と地すべり発生の実態（松浦純生）	71
4. 7. 1 はじめに	71
4. 7. 2 過去 30 余年における積雪環境の変動	71
4. 7. 3 少雪年の最寒期における地すべり	75
4. 7. 4 融雪初期に長距離移動した地すべり	76
4. 7. 5 おわりに	78
4. 8 流木災害の現状	79
4. 9 土砂及び流木災害の現状と課題の整理（石川 芳治）	89
4. 9. 1 はじめに	89
4. 9. 2 土砂災害の発生状況	89
4. 9. 3 最近の豪雨に起因する表層崩壊による土石流・流木災害とそれらの課題.....	90
4. 9. 4 平成 25 年（2013）台風 26 号に伴う豪雨による伊豆大島大金沢における大規模な土石流・流木災害の実態 ¹⁾ と課題	90
4. 9. 5 平成 26 年(2014)8 月の集中豪雨による広島市での土石流・山腹崩壊災害の実態 ²⁾ と課題	94
4. 9. 6 平成 29 年(2017)7 月九州北部豪雨による土石流・流木災害の実態 ⁷⁾ と課題	101
4. 9. 7 平成 30 年(2018)7 月豪雨による土石流・流木災害の実態 ^{11),12)} と課題	107
4. 9. 8 平成 30 年 7 月豪雨等近年の豪雨に伴う山地災害の特徴的なメカニズム等を踏まえた対策	110
4. 9. 9 最近の表層崩壊，土石流，流木災害から見た今後の地球温暖化に対する課題と対応	115
4. 9. 10 深層崩壊ならびに土砂ダムによる災害の現状と課題と対応	119
4. 10 気象変動に関連した近年の特異な風倒木の現状	124
4. 11 令和元年房総半島台風（第 15 号）による千葉県内での風倒木被害の概要（石川芳治）	126

4. 11. 1 千葉県における風倒木被害の特徴.....	128
4. 11. 2 風倒木災害防止のための課題	129
4. 12 風倒木災害の現状と課題 (川邊 洋)	130
4. 12. 1 はじめに	130
4. 12. 2 強風の実態	130
4. 12. 3 地形と局所的森林被害	132
4. 12. 4 幹折れ被害の特徴.....	132
4. 12. 5 根返り発生の考え方.....	132
4. 12. 6 おわりに	133
4. 13 近年の山地災害における治山施設の効果	135
4. 14 気候変動に伴う気象現象の発生状況の現状に関する課題.....	136
4. 14. 1 気象観測システム及び気象予報システムに関する課題.....	136
4. 14. 2 気象現象の発生状況に関する課題.....	136
4. 15 気候変動に伴う気象現象の予測手法の現状に関する課題.....	138
4. 16 土砂災害の現状に関する課題	139
4. 17 流木災害の現状に関する課題	143
4. 18 風倒木災害の現状に関する課題	146
4. 19 近年の山地災害における治山施設の効果に関する課題.....	147
5. 関連分野での新しい技術の利用に関する現状と課題の整理	148
5. 1 空間情報技術の利用に関する現状と課題の整理	148
5. 1. 1 土砂災害の予測や軽減に利用する空間情報技術の現状.....	148
5. 1. 2 流木災害の予測や軽減に利用する空間情報技術の現状.....	150
5. 1. 3 リモートセンシングによる山地災害発生状況の把握の現状と課題	152
5. 1. 4 垂直離着陸型 UAV の活用	153
5. 1. 5 コーナーリフレクタを使った地形変動観測の現状.....	154
5. 1. 6 地上設置型合成開口レーダを利用した移動量観測.....	155
5. 1. 7 リモートセンシングを用いた風倒木の被害状況把握.....	156
5. 2 ICT 等の情報伝達技術の利用に関する現状と課題の整理	158
5. 2. 1 土砂災害の予測や軽減に利用する情報伝達技術の現状.....	158
5. 2. 2 流木災害の予測や軽減に利用する情報伝達技術の現状.....	159
5. 2. 3 風倒木災害の予測や軽減に利用する情報伝達技術の現状	160
5. 2. 4 web 型自動観測システムを用いた山地災害の監視	161
5. 2. 5 ICT を活用したソフト対策	162
5. 3 その他の技術の利用に関する現状と課題の整理	167
5. 4 空間情報技術の利用に関する課題	168
5. 4. 1 治山分野で利用する地形図の現状と課題	168
5. 4. 2 空間情報技術の利用に関する課題	168
5. 5 ICT 等の情報伝達技術の利用に関する課題	169
6. 気候変動に伴う気象現象の予測手法と対応	170
6. 1 従来の手法を改良した極値解析手法を用いる方法	170

6. 2 国際的な気候変動予測モデルとその適用	172
6. 3 従来の予測手法を用いた事例	178
6. 4 アンサンブル予測雨量などのリアルタイム予測雨量の治山分野での活用	180
6. 5 d4PDF を利用した確率雨量の補正	181
6. 6 治水分野での気候変動予測データの活用方針	183
6. 7 治山分野で今後利用する気象現象の予測手法について	188
7. 斜面崩壊の発生と規模に関する変化予測と対応	189
7. 1 気候変動適応情報プラットフォーム（A-PLAT）による土砂災害の将来予測	189
7. 2 降雨量から崩壊面積を推定する方法	197
7. 3 表層崩壊の発生場所の予測手法	200
7. 4 気候変動モデルを用いた将来の土砂災害の変化予測	202
7. 4. 1 気候変動モデルを用いた将来の斜面崩壊発生状況の予測	202
7. 4. 2 気候変動モデルを用いた将来の土砂生産量の変化予測	204
7. 5 夏期雨量と新極値の発生危険度を用いた土砂災害危険度の評価事例	206
7. 6 気候変動および山地災害の評価の現状と今後の山地災害対策の方向性（執印康裕）	211
7. 6. 1 災害外力と災害発生の対応関係について	211
7. 6. 2 土砂災害警戒情報の枠組からの検討	212
7. 7 豪雨にともなう斜面崩壊の規模と発生場の特徴（土屋 智）	216
7. 7. 1 はじめに	216
7. 7. 2 国土地理院作成の斜面崩壊資料	217
7. 7. 3 崩壊地と地形因子	217
7. 7. 4 おわりに	223
7. 8 北九州北部豪雨にともなう斜面崩壊の発生場と規模に関する特徴（土屋 智）	224
7. 8. 1 はじめに	224
7. 8. 2 土砂崩壊地の面的規模と斜面勾配による区分	224
7. 8. 3 おわりに	229
7. 9 斜面崩壊の発生と規模に関する変化予測手法の今後の方向性と治山分野での活用	231
8. 土砂・流木の流出形態の変化予測とその対応	233
8. 1 流木量の予測に関する既往の方法	233
8. 2 日本の森林における森林蓄積と木材供給量、齢級構成の推移	235
8. 3 砂防分野での気候変動対応の方向性	238
8. 4 国土交通省の水災害対策検討小委員会の答申	243
8. 5 社会資本審議会（2017）の土砂災害対策への答申	248
8. 6 土砂流出量の予測に関する既往の方法	251
8. 7 林野庁の土石流・流木対策指針解説等で推奨されている新規崩壊面積の推定法	255
8. 8 流木シミュレーションの現状	256
8. 9 土砂・流木の流出形態の変化予測と治山分野での活用	256
9. 風倒木災害の発生予測とその対応	257
9. 1 風況予測シミュレーションの現状	257
9. 2 最近の風倒木災害から見た今後の地球温暖化に対する課題－風倒木の発生予測と効果的な風	

倒木被害の抑制方法の開発（石川芳治）	263
9. 2. 1 風倒木の発生予測と効果的な風倒木被害の抑制方法の開発	263
9. 3 風倒木災害の発生予測とその対応（石川 芳治）	265
9. 3. 1 はじめに	265
9. 3. 2 風倒木被害と引き起こされる災害	265
9. 3. 3 風倒木被害を受けやすい森林の特徴	265
9. 3. 4 風倒木被害にともなう山腹斜面崩壊の特徴	268
9. 4 台風の災害に対する影響度の長年変化と近年の風倒木被害（川邊 洋）	270
9. 4. 1 はじめに	270
9. 4. 2 豪雨と強風から見た台風の影響度	270
9. 4. 3 43年間の変遷	272
9. 4. 4 風倒木被害を発生させた台風のインパクト指標	273
9. 4. 5 おわりに	274
9. 5 森林に対する台風の影響度と被害林の特徴（川邊洋）	275
9. 5. 1 はじめに	275
9. 5. 2 風倒木被害を発生させた台風と樹種、森林の状況	275
9. 5. 3 強風インパクト指標と風倒木被害面積率との関係	276
9. 5. 4 おわりに	277
9. 6 風倒木災害の発生予測と治山分野での活用	279
10. 治山施設の適正配置と機能強化に対する検討	280
10. 1 林野庁の最近の取り組み	280
10. 1. 1 近年の豪雨災害を踏まえた治山対策の取り組み状況に関する評価と課題	280
10. 1. 2 気候変動を見据えた森林の土砂流出防止機能・洪水緩和機能の維持・向上のための対策	281
10. 2 治山技術基準の現状と課題	286
10. 2. 1 治山技術基準における確率水文量の算出方法	286
10. 2. 2 外力の計画規模を考慮した治山施設	286
10. 2. 3 治山施設の配置に関する治山技術基準の記述内容	286
10. 3 山地災害対策に関する検討委員会からの提言内容（H27）	289
10. 3. 1 山地災害対策を巡る現状及び課題	289
10. 3. 2 事前防災対策としての山地災害対策の強化に向けた基本的な方向	290
10. 3. 3 今後の主な取り組みに関する提言内容	291
10. 4 山地災害危険地区調査要領の現状と課題	295
10. 4. 1 山腹崩壊危険地区調査の現状と課題	295
10. 4. 2 崩壊土砂流出危険地区調査の現状と課題	300
10. 4. 3 山地災害危険地区の調査方法の在り方	301
10. 5 予防治山事業の今後の在り方	303
10. 5. 1 予防治山事業の現状	303
10. 5. 2 治山事業における山地災害危険地区的積極的な活用	304
10. 5. 3 予防治山事業の拡大	304

10. 6 斜面崩壊の変化に対応する治山施設の適正配置と機能強化の検討	306
10. 6. 1 気候変動に伴う斜面崩壊の変化及び対応	306
10. 6. 2 山腹工の計画・設計に関する実務面での課題	306
10. 6. 3 斜面崩壊の変化に対応した治山施設の適正配置	306
10. 6. 4 斜面崩壊の変化に対応した治山施設の機能強化	308
10. 7 土砂・流木の流出形態の変化に対応する治山施設の適正配置と機能強化の検討	309
10. 7. 1 気候変動に土砂・流木の流出形態の変化及び対応	309
10. 7. 2 渓間工の計画・設計に関する実務上の課題	309
10. 7. 3 流木対策に関するこれまでの行政の対応	310
10. 7. 4 土砂・流木の流出形態の変化に対応した治山施設の適正配置	311
10. 7. 5 土砂・流木の流出形態の変化に対応した治山施設の機能強化	312
10. 8 風倒木災害に対応する治山施設の適正配置と機能強化の検討	313
10. 8. 1 気候変動に風倒木災害の変化及び対応	313
10. 8. 2 風倒木対策のための治山施設の計画・設計に関する実務上の課題	313
10. 8. 3 風倒木災害の変化に対応した治山施設の適正配置	313
10. 8. 4 風倒木災害の変化に対応した治山施設の機能強化	314
10. 9 斜面崩壊の変化に対応する治山施設の適正配置と機能強化の検討（石川芳治）	315
10. 9. 1 気象条件、自然環境および森林等の変化	315
10. 9. 2 斜面崩壊形態	315
10. 9. 3 斜面崩壊形態の調査	317
10. 9. 4 発生する可能性が高い斜面崩壊形態の予測	320
10. 9. 5 斜面崩壊形態別の適する治山対策の検討	321
10. 9. 6 斜面崩壊による災害の防止・軽減に関する治山対策の機能強化の検討	330
10. 10 土砂、流木の流出形態の変化に対応する治山施設の適正配置と機能強化（石川芳治）	332
10. 10. 1 気象条件、自然環境および森林等の変化	332
10. 10. 2 土石流・流木の発生・流下・堆積形態	332
10. 10. 3 土石流・流木の発生と規渓流と規模の調査	333
10. 10. 4 土石流・流木の例	333
10. 10. 5 土石流・流木災害を防止・軽減するための渓流部における治山対策	336
10. 10. 6 土石流・流木による災害の防止・軽減に関する治山対策の機能強化の検討	340
10. 11 風倒木災害に対応する治山施設の適正配置と機能強化（石川芳治）	344
10. 11. 1 気象条件、自然環境および森林等の変化	344
10. 11. 2 風倒木被害への対応	344
10. 11. 3 おわりに	349

1. 調査研究概要

1.1 調査研究目的

地球温暖化に伴い、強い降雨の発生頻度や巨大な台風の発生頻度が高くなることが予測されている。そのような中で、今後の山地災害の変化の予測を行った。具体的には降雨の増加に伴う山地における斜面崩壊や土砂・流木の流出の形態の変化予測、台風の風速が増すことによる風倒木災害の発生予測とそれに対応するための治山施設の適正配置（構造、設置方法等を含む）と新設治山施設の機能強化に関する手法の開発を目的に調査研究を行った。

1.2 全体計画

1.2.1 調査研究内容

研究開発課題：「地球温暖化に伴う山地災害の変化予測と治山施設の適正配置及び機能強化に関する調査研究」では平成30年7月～令和3年6月の3年間で以下の調査研究を実施した。

I. 気候変動に伴う山地災害の現状と課題の整理

1. 気候変動に伴う気象現象の発生状況の現状と課題の整理
2. 気候変動に伴う気象現象の予測手法の現状と課題の整理
3. 土砂災害の現状と課題の整理
4. 流木災害の現状と課題の整理
5. 風倒木災害の現状と課題の整理
6. 近年の山地災害における治山施設の効果と課題の整理

II. 関連分野での新しい技術の利用に関する現状と課題の整理

1. 空間情報技術の利用に関する現状と課題の整理
2. ICT等の情報伝達技術の利用に関する現状と課題の整理
3. その他の技術の利用に関する現状と課題の整理

III. 気候変動に伴う山地災害の変化予測と対応

1. 気候変動に伴う気象現象の予測手法とその適用
2. 斜面崩壊の発生と規模に関する変化予測と対応
3. 土砂・流木の流出形態の変化予測とその対応
4. 風倒木災害の発生予測とその対応

IV. 治山施設の適正配置と機能強化に対する検討

1. 斜面崩壊の変化に対応する治山施設の適正配置と機能強化の検討
2. 土砂・流木の流出形態の変化に対応する治山施設の適正配置と機能強化の検討
3. 風倒木災害に対応する治山施設の適正配置と機能強化の検討

1.2.2 調査研究の進め方

(1) 委員会の設置

本研究課題の検討するため、学識経験者、関連業界関係者、森林分野技術者からなる検討委員会を設置し、課題の推進について助言を受けた。

(2) 取りまとめ

委員会の討議を踏まえて、本研究課題に関する報告書にまとめた。

調査研究の全体スケジュールを以下に示す。

表 1.2.1 調査研究全体スケジュール

調査項目	H30	R01	R02
I. 気候変動に伴う山地災害の現状と課題の整理			
1. 気候変動に伴う気象現象の発生状況の現状と課題の整理	●	●	
2. 気候変動に伴う気象現象の予測手法の現状と課題の整理	●	●	
3. 土砂災害の現状と課題の整理	●	●	
4. 流木災害の現状と課題の整理	●	●	
5. 風倒木災害の現状と課題の整理	●	●	
6. 近年の山地災害における治山施設の効果と課題の整理	●	●	
II. 関連分野での新しい技術の利用に関する現状と課題の整理			
1. 空間情報技術の利用に関する現状と課題の整理	●	●	
2. ICT 等の情報伝達技術の利用に関する現状と課題の整理	●	●	
3. その他の技術の利用に関する現状と課題の整理	●	●	
III. 気候変動に伴う山地災害の変化予測と対応			
1. 気候変動に伴う気象現象の予測手法とその適用		●	●
2. 斜面崩壊の発生と規模に関する変化予測と対応		●	●
3. 土砂・流木の流出形態の変化予測とその対応		●	●
4. 風倒木災害の発生予測とその対応		●	●
IV. 治山施設の適正配置と機能強化に対する検討			
1. 斜面崩壊の変化に対応する治山施設の適正配置と機能強化の検討			●
2. 土砂・流木の流出形態の変化に対応する治山施設の適正配置と機能強化の検討			●
3. 風倒木災害に対応する治山施設の適正配置と機能強化の検討			●

1.3 各年度で実施した調査研究内容

<平成 30 年度の調査研究実施内容>

- I. 気候変動に伴う山地災害の現状と課題の整理
 - 1. 気候変動に伴う気象現象の発生状況の現状と課題の整理
 - 2. 気候変動に伴う気象現象の予測手法の現状と課題の整理
 - 3. 土砂災害の現状と課題の整理
 - 4. 流木災害の現状と課題の整理
 - 5. 風倒木災害の現状と課題の整理
 - 6. 近年の山地災害における治山施設の効果と課題の整理
- II. 関連分野での新しい技術の利用に関する現状と課題の整理
 - 1. 空間情報技術の利用に関する現状と課題の整理
 - 2. ICT 等の情報伝達技術の利用に関する現状と課題の整理
 - 3. その他の技術の利用に関する現状と課題の整理

<令和元年度の調査研究実施内容>

- I. 気候変動に伴う山地災害の現状と課題の整理
 - 1. 気候変動に伴う気象現象の発生状況の現状と課題の整理
 - 2. 気候変動に伴う気象現象の予測手法の現状と課題の整理
 - 3. 土砂災害の現状と課題の整理
 - 4. 流木災害の現状と課題の整理
 - 5. 風倒木災害の現状と課題の整理
 - 6. 近年の山地災害における治山施設の効果と課題の整理
- II. 関連分野での新しい技術の利用に関する現状と課題の整理
 - 1. 空間情報技術の利用に関する現状と課題の整理
 - 2. ICT 等の情報伝達技術の利用に関する現状と課題の整理
 - 3. その他の技術の利用に関する現状と課題の整理

III. 気候変動に伴う山地災害の変化予測と対応

- 1. 気候変動に伴う気象現象の予測手法とその適用
- 2. 斜面崩壊の発生と規模に関する変化予測と対応
- 3. 土砂・流木の流出形態の変化予測とその対応
- 4. 風倒木災害の発生予測とその対応

<令和 2 年度の調査研究実施内容>

- III. 気候変動に伴う山地災害の変化予測と対応
 - 1. 気候変動に伴う気象現象の予測手法とその適用
 - 2. 斜面崩壊の発生と規模に関する変化予測と対応
 - 3. 土砂・流木の流出形態の変化予測とその対応
 - 4. 風倒木災害の発生予測とその対応
- IV. 治山施設の適正配置と機能強化に対する検討
 - 1. 斜面崩壊の変化に対応する治山施設の適正配置と機能強化の検討
 - 2. 土砂・流木の流出形態の変化に対応する治山施設の適正配置と機能強化の検討
 - 3. 風倒木災害に対応する治山施設の適正配置と機能強化の検討

上記の調査研究は、学識経験者、関連業界関係者、森林分野技術者からなる検討委員会を設置し、それぞれについて現状・課題・今後の対応策（あり方）について検討を行った。

委員会の構成は以下のとおりである。

<委員>

	氏名	フリガナ	所属
1	石川芳治	イシカワ ヨシハル	東京農工大学 名誉教授
2	辻本浩史	ツジモト ヒロフミ	日本気象協会 常務理事 事業本部長
3	松浦純生	マツウラ スミオ	京都大学 名誉教授
4	土屋 智	ツチヤ サトシ	静岡大学 名誉教授
5	川邊 洋	カワベ ヒロシ	新潟大学 名誉教授
6	執印康裕	シュウイン ヤスヒロ	九州大学大学院農学研究院環境農学部門（教授）
7	浅野志穂	アサノ シホ	森林総合研究所 森林防災研究領域（領域長）
8	志水俊夫	シミズ トシオ	森林・自然環境技術教育研究センター（主任研究員）
9	榎田充哉	エノキダ ミツヤ	国土防災技術（株）（常任顧問）

<部会員>

区分	氏名	フリガナ	所属
(主査)	石川芳治	イシカワ ヨシハル	東京農工大学 名誉教授
(副主査)	榎田充哉	エノキダ ミツヤ	国土防災技術（株）（常任顧問）
部会員	黒川 将	クロカワ マサル	国土防災技術（株）東京支店（課長）
部会員	佐羽内美千 絵	サバナイ ミチエ	国土防災技術（株）技術部（主任）

1.4 部会および委員会の開催状況

○平成 30 年度第 1 回委員会（通算第 1 回）

開催日時：平成 31 年 4 月 24 日（水）13:30～16:00

開催場所：日林協会館 中会議室

参 加 者：

(委 員) 石川芳治, 辻本浩史, 土屋 智, 川邊 洋, 執印康裕, 浅野志穂, 榎田充哉
(部会員) 石川芳治, 榎田充哉, 黒川 将, 佐羽内美千絵
(事務局) 弘中義夫, 河岡 裕

検討内容：

1. 研究目的および研究内容の確認
2. 研究全体の方向性と本年度実施内容の検討
3. 気候変動に伴う気象現象の発生状況の現状と課題に関する研究の進め方
4. 気候変動に伴う気象現象の予測手法の現状と課題に関する研究の進め方
5. 土砂災害の現状と課題に関する研究の進め方
6. 流木災害の現状と課題に関する研究の進め方
7. 風倒木災害の現状と課題に関する研究の進め方
8. 近年の山地災害における治山施設の効果と課題に関する研究の進め方
9. 空間情報技術の利用に関する現状と課題に関する研究の進め方
- 1 1. ICT 等の情報伝達技術の利用に関する現状と課題に関する研究の進め方
- 1 2. その他の技術の利用に関する現状と課題に関する研究の進め方

○平成 30 年度第 2 回委員会（通算第 2 回）

開催日時：令和元年 5 月 28 日（火）13:30～16:00

開催場所：日林協会館 中会議室

参 加 者：

(委 員) 石川芳治, 辻本浩史, 松浦純生, 川邊 洋, 土屋 智, 執印康裕, 浅野志穂,
志水俊夫, 榎田充哉
(部会員) 石川芳治, 榎田充哉, 黒川 将, 佐羽内美千絵
(事務局) 河岡 裕

検討内容：

1. 気候変動に伴う山地災害の現状と課題の整理
 1. 1. 気候変動に伴う気象現象の発生状況の現状の整理
 1. 2. 気候変動に伴う気象現象の予測手法の現状の整理
 1. 3. 土砂災害の現状の整理
 1. 4. 流木災害の現状の整理
 1. 5. 風倒木災害の現状の整理
 1. 6. 近年の山地災害における治山施設の現状の整理
2. 関連分野での新しい技術の利用に関する現状の整理
 2. 1. 空間情報技術の利用に関する現状の整理
 2. 2. ICT 等の情報伝達技術の利用に関する現状の整理
 2. 3. その他の技術の利用に関する現状の整理

3. 来年度実施する実態調査アンケート内容の検討

○令和元年度第1回委員会（通算第3回）

開催日時：令和2年6月9日（火）13:00～16:00

開催場所：オンライン会議形式

参加者：

(委員) 石川芳治, 辻本浩史, 松浦純生, 川邊 洋, 土屋 智, 執印康裕, 浅野志穂,
志水俊夫, 榎田充哉
(部会員) 石川芳治, 榎田充哉, 黒川 将, 佐羽内美千絵
(事務局) 弘中義夫, 上河 潔, 河岡 裕

検討内容：

1. 令和元年度アンケート調査結果について
2. 関連分野での新しい技術の利用に関する現状と現状と課題の検討
3. 気候変動に伴う気象現象の予測手法とその適用の検討
4. 斜面崩壊の発生と規模に関する変化予測と対応の検討
5. 土砂・流木の流出形態の変化予測と対応の検討
6. 風倒木災害の発生予測と対応の検討
7. 今年度の研究の方向性の検討

○令和元年度第2回委員会（通算第4回）

開催日時：令和2年7月21日（火）13:30～16:00

開催場所：オンライン会議形式

参加者：

(委員) 石川芳治, 辻本浩史, 松浦純生, 川邊 洋, 土屋 智, 執印康裕, 浅野志穂,
志水俊夫, 榎田充哉
(部会員) 石川芳治, 榎田充哉, 黒川 将, 佐羽内美千絵
(事務局) 弘中義夫, 上河 潔, 河岡 裕

検討内容：

1. 令和元年度アンケート調査分析結果について
2. 関連分野での新しい技術の利用に関する現状と現状と課題の検討
3. 気候変動に伴う気象現象の予測手法とその適用の検討
4. 斜面崩壊の発生と規模に関する変化予測と対応の検討
5. 土砂・流木の流出形態の変化予測と対応の検討
6. 風倒木災害の発生予測と対応の検討
7. 今年度の研究の方向性の検討

○令和 2 年度第 1 回委員会（通算第 5 回）

開催日時：令和 3 年 4 月 27 日（火）13:00～16:00

開催場所：オンライン会議形式

参 加 者：

（委 員） 石川芳治，辻本浩史，松浦純生，川邊 洋，執印康裕，浅野志穂，志水俊夫，
榎田充哉
（部会員） 石川芳治，榎田充哉，黒川 将
（事務局） 河岡 裕

検討内容：

1. 気候変動に伴う山地災害の課題の整理
2. 関連分野での新しい技術の利用に関する課題の検討
3. 気候変動に伴う山地災害の変化予測と対応の検討
4. 治山施設の適正配置と機能強化に対する検討
5. 今年度の研究の方向性の検討

○令和 2 年度第 2 回委員会（通算第 6 回）

開催日時：令和 3 年 6 月 3 日（木）13:00～16:00

開催場所：オンライン会議形式

参 加 者：

（委 員） 石川芳治，辻本浩史，松浦純生，川邊 洋，執印康裕，浅野志穂，志水俊夫，
榎田充哉
（部会員） 石川芳治，榎田充哉，黒川 将
（事務局） 河岡 裕

検討内容：

1. 最終報告書（案）の構成確認
2. 気候変動に伴う山地災害の変化予測と対応（追加原稿の確認）
3. 治山施設の適正配置と機能強化に関するその他の現状と課題
4. 治山施設の適正配置と機能強化に対する検討
5. 今後のスケジュールについて

1.5 報告書の概要

I. 気候変動に伴う山地災害の現状と課題の整理

1.5.1 山地災害と治山施設の実態調査及びアンケート結果

山地災害と治山施設の実態および治山事業における新技術の利用実態を把握するため、アンケート調査を実施した。アンケート調査は、都道府県の本庁林務部署および地方事務所を対象に実施し、20府県より回答を頂いた。このアンケート調査結果より、山地災害と治山施設の実態および治山事業における新技術利用の実態について整理を行った。

1.5.2 山地災害と治山施設の実態調査結果の分析

アンケート結果より治山事業としての風倒木災害対策、保全対象の重要度を考慮した治山事業、近年発生した山地災害情報の分析を行った。

治山事業としての風倒木災害対策では、保安林整備事業が風倒木災害の低減に貢献できるという意見が圧倒的に多いことから、17種類の保安林のうち、「水源かん養保安林」、「土砂流出防備保安林」、「土砂崩壊防備保安林」、「防風保安林」、「水害防備保安林」の整備事業が風倒木災害（流木災害を含む）対策への貢献が特に期待できる保安林と言える。

保全対象の重要度を考慮した治山事業については、アンケート結果では保全対象の重要度に応じて計画規模（雨量、流量）を変化させた事例はゼロであった。しかし、保全対象の重要度などを考慮して、治山施設（山腹工、渓間工）を通常より高規格化した事例はいくつか存在した。

近年発生した山地災害情報の分析では、24時間雨量と土砂量の関係と治山施設と最寄りの保全対象との距離の関係について分析を行った。24時間雨量と土砂量の関係は、アンケート結果の災害情報を元に誘因である24時間雨量と流出土砂量の関係を分析し、その結果、崩壊と土石流において24時間雨量と流出土砂量の最大値の間に緩やかな相関が認められた。また、治山施設と最寄りの保全対象との距離の関係では、治山施設が効果を発揮した事例、発揮しなかった事例、被災した事例のそれぞれについて、治山施設と最寄りの保全対象までの距離と保全対象の種類の関係を分析し、施設効果の有無や被災の有無に関係なく、保全対象が近接する場合と100～700mと若干はなれている場合があることが明らかとなった。

1.5.3 気候変動に伴う山地災害の現状と課題

気候変動に伴う気象現象の発生状況、気候変動に伴う気象現象の予測手法、土砂災害、流木災害、風倒木災害の現状と課題の整理を行い、近年の山地災害における治山施設の効果と課題について整理を行った。

また、治山分野における降雨解析の重要性、地球温暖化による豪雨規模等の災害外力の変化、土砂移動の誘因である豪雨の実態と長期的な変化、豪雪地帯における積雪環境の変動と地すべり発生の実態、令和元年房総半島台風（第15号）による千葉県内での風倒木被害の概要についても取りまとめた。

II. 関連分野での新しい技術の利用に関する現状と課題の整理

1.5.4 関連分野での新しい技術の利用に関する現状と課題の整理

山地災害軽減に寄与できる空間情報技術、情報伝達技術、その他の新技術について現状と課題の整理を行った。

また、治山分野においては、山地災害発生状況の把握などで、リモートセンシングの活用が進んでおり、航空レーザ計測結果を用いた地形図による微地形判読などが実用化されているものの、治山施設の設計においては未だに森林基本図が利用されている現状があり、航空レーザ計測等で得られた詳細な地形図が積極的に活用されていない課題があることを示した。ICT等の情報伝達技術については、治山分野にSNSなど最近の情報伝達技術が活用されていない現状があり、ICTによる情報共有の実証及びデータ・システムの標準化が課題であることを示した。

III. 気候変動に伴う山地災害の変化予測と対応

1.5.5 気候変動に伴う気象現象の予測手法と対応

国際的な気候変動予測モデルなどでは、気候変動に伴い水災害や土砂災害のリスクが増大するとしており、気候変動に伴ってそれらのリスクが減少するという予測は無い。豪雨の予測は治山施設の計画規模の決定において重要であり、暴風の予測も風倒木対策では重要となる。

確率水文量などを治山施設の計画規模や設計に反映するのは、治山堰堤の計画高水流量と土石流ピーク流量、土石流流体力の算出である。計画高水流量は土石流ピーク流量算出や放水路断面の形状検討に利用される。これまでに検討を行った気候変動を考慮した気象現象の予測手法の中で、治山分野に適用可能な手法は以下の3種類であると考える。

- ①従来の手法を改良した極値解析手法を用いる方法
- ②国際的な気候変動予測モデルを用いる方法
- ③d4PDFを利用する方法

今後の治山施設の計画・設計における気象現象の予測手法の方向性としては以下の3つの方向性が考えられる。

- ①極値解析手法を用いる従来の手法をそのまま利用する。
- ②従来の手法と気候変動を考慮した気象現象の予測手法を、治山施設によって使い分ける。
- ③気候変動を考慮した気象現象の予測手法に全面的に変更する。

1.5.6 斜面崩壊の発生と規模に関する変化予測と対応

斜面崩壊の実績から要因等を分析する手法は各種開発されているが、将来の斜面崩壊発生を予測する手法は、開発途上にあると考える。まずは、地域特性を含めた斜面崩壊の実用的な予測手法を開発する必要がある。その予測手法は森林植生の影響を含めた手法が望ましい。一方、森林飽和の状態を迎えている中での近年の山腹工は、崩壊が発生した場所の事後対策がメインであり、斜面崩壊の予測手法を活用することは少ないと考えられる。渓間工については上流部で斜面崩壊が発生しやすい場所の流域に優先的に渓間工を配置するなどの、活用が可能である。

また、気候変動および山地災害の評価の現状と今後の山地災害対策の方向性、豪雨にともなう斜面崩壊の規模と発生場の特徴についても取りまとめた。

1.5.7 土砂・流木の流出形態の変化予測とその対応

土石流・流木対策指針解説等（林野庁、2019）では石川ほか（1989）や石川（1989）などの1980年代の研究成果を元に、当時の流域面積と流木量等との関係から流木量を推定する方法が推奨されている。参照されている研究成果の多くは30年以上前の研究成果であるが、この30年間で森林の状況も降雨の状況も変化していることから、近年の流木の流出形態に関する追加の調査と研究

が必要である。過去から現在までの流木の流出形態の違いから、今後の気候変動に伴う流出形態の変化を予測する必要がある。

土砂の流出形態については各種解析モデルが提案され、特定の流域での適用例が数多く発表されているが、表面侵食、表層崩壊、深層崩壊、土石流などさまざまな形式の土砂生産過程を精度良く推定することが課題となっている。気候変動に伴う土砂の流出形態の変化を適正に評価するためには、土砂流出解析モデルにおける土砂生産過程の多様化と予測精度の向上が必要である。

しかし、土石流対策の実務における土砂量等の算定は、現在の土石流・流木対策指針解説等（林野庁、2019）にも適用されている一般的な方法を採用することになるが、「渓床に接続する斜面の新規崩壊発生見込み量に伴う土砂量」の推定精度の向上が重要である。特に気候変動に伴ってそれがどのように変化するかの推定が重要となる。現在の指針では1992年以前の研究成果である雨量指數と新生崩壊の面積率の関係図も使用しており、現在、その関係がどのように変化しているのか、また、気候変動に伴って将来的にどのように変化するのかを予測することが必要である。

1.5.8 風倒木災害の発生予測とその対応

風況シミュレーションによる風倒木被害を予測した事例を整理した結果、風況シミュレーションはいろいろな解析モデルが存在するものの、樹齢や樹種毎の森林の強度を考慮したシミュレーションは無く、風況シミュレーションを用いて風倒木災害を事前に予想することは難しい。一方、風倒木災害に対して弱い森林の条件に関する情報は揃いつつあることからその情報を治山分野でどのように活用するかが重要と考えられる。

また、最近の風倒木災害から見た今後の地球温暖化に対する課題から風倒木災害の発生予測とその対応や台風の災害に対する影響度の長年変化と近年の風倒木被害についても取りまとめた。

IV. 治山施設の適性配置と強化に対する検討

1.5.9 治山施設の適正配置と機能強化に対する検討

治山施設の適正配置と機能強化に対する検討では、まず、林野庁の最近の取り組み等を整理し、気候変動に伴う山地災害の変化に対応するためには、災害発生後の復旧治山等を強化するだけではなく予防治山事業を積極的に拡大する必要があることを示した。その後、斜面崩壊の変化に対応する治山施設（山腹工）、土砂・流木の流出形態の変化に対応する治山施設（渓間工）、風倒木災害に対応する治山施設についての計画・設計に関する実務上の課題を整理し、適正配置方針および今後のあり方と具体策、機能強化方法について取りまとめた。

2. 山地災害と治山施設の実態調査及びアンケート結果

山地災害と治山施設の実態および治山事業における新技術の利用実態を把握するため、アンケート調査を実施した。

2.1 山地災害と治山施設の実態調査結果

2020年5月30日時点で回答を頂いている県は以下の20府県である。

<東北地方>

岩手県、宮城県、山形県、福島県

<関東・甲信越地方>

茨城県、千葉県、新潟県、長野県、静岡県、

<東海・関西・北陸地方>

愛知県、三重県、福井県、大阪府、兵庫県

<中国・四国地方>

徳島県、愛媛県

<九州地方>

福岡県、佐賀県、熊本県、大分県

表 2.1.1 アンケート回答者所属部署

所属	回答数	県名
本庁の林務部署	19	
都道府県の地方事務所	1	福井県
計	20	

2.1.1 近年（過去20年程度）の山地災害(斜面崩壊、地すべり、土石流、風倒木等)の概況

(1) I-1：近年の山地災害の有無

表 2.1.2 アンケート回答状況

選択肢	回答数
有	20
無	0
計	20

(2) I-2：山地災害情報の管理方法（概要）

表 2.1.3 山地災害情報の管理方法の種類に関する回答

選択肢	回答数
①災害毎の災害情報を集計・整理（ファイリング）またはデータベース化して管理している	4
②ファイリングやDB化は実施していないが、主要な山地災害の災害情報はいつでも内容を参照できる状態で管理している	4
③山地災害についてはその都度対応しているが、過去の災害情報は管理していない	10
④その他	2
計	20

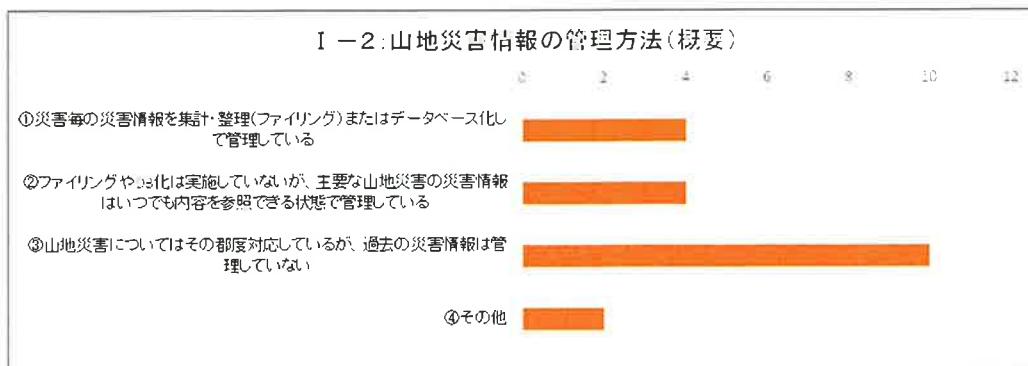


図 2.1.1 山地災害情報の管理方法の種類に関する回答

(3) I-3 : 具体的にどのように方法で山地災害情報を管理されていますか? 又、過去何年間の情報を管理されていますか?

表 2.1.4 山地災害情報の管理方法の内容に関する回答

県 No	管理方法	記録年数
2	災害情報を年度ごとに集計している。	25年（平成6年より集計している。）
5	書類及びファイルサーバー	5年
6	災害時に把握し取りまとめたデータは、該当フォルダに保存されている。また、大規模災害であれば記録誌等を作成している場合がある。	—
7	災害情報について集計を行い、簿冊（保存期間5年）で管理している。	—
10	箇所名、被害状況、概算金額等の一覧表をエクセルデータで保管	過去20年分
12	共有フォルダ内に年度毎に災害報告、位置図、被害写真等を保存している。	10年
13	課内の共有サーバに保存	災害記録については平成24年度から。被害の集計は平成2年度から保存している
17	ファイリング	10年。大災害は長期
20	近年5か年分は災害関連ファイルで写真等を含めてファイリングし、それ以外は冊子「治山事業の概要」に被害概要を載せている。	昭和28年～

(4) I-4：あなたの都道府県では、近年（過去20年程度）の山地災害等について、災害規模（土砂量等）や災害の種類等の、記録や集計結果を公表していますか？

表 2.1.5 アンケート回答状況

選択肢	回答数
有	6
無	7
無回答	7
計	20

表 2.1.6 記録や集計結果を公表していると回答した県の資料内容

県名	著者(編集者)	発行年	資料名
兵庫県	1 (社) 兵庫県治山林道協会	H17.2	2004年台風23号災害ほか 森林被害速報
	2 (社) 兵庫県治山林道協会	H21.1	平成16年一連の台風災害による林地・林道施設の災害復旧事例集
	3 (社) 兵庫県治山林道協会	H22.2	2009年台風9号災害ほか 山地災害の記録
	4 (社) 兵庫県治山林道協会	H27.8	2014年8月豪雨災害 山地災害の記録
千葉県	1 千葉県農林水産部森林課	毎年度	〇〇年度 千葉県森林・林業統計書 (平成30年度版の掲載箇所 II森林・林業統計 _4森林保護_(6)林野被害の発生状況
大分県	1 大分県	R2	「治山事業の歴史」大分県ホームページ www.pref.oita.jp/soshiki/16200
長野県	1 各災害の詳細は記述しませんが、箇所数及び被害額については、長野県HPで公表しています。		長野県 HP https://www.pref.nagano.lg.jp/shinrin/sangyo/ringyo/hozan/chisan/sanchi.html
宮城県	1 宮城県総務部危機対策課	H21.12	平成20年岩手・宮城内陸地震からの復興に向けて
	2 宮城県農林水産部	H29.9	東日本大震災～復旧・復興に係る宮城県農林水産部の対応記録
愛知県	1 愛知県農林水産部森林保全課	H16.12 ～ ※毎年発行	治山事業の概要

(5) I-5：近年、気候変動が話題になりますが、近年の山地災害が増加している実感はありますか？

表 2.1.7 アンケート回答状況

選択肢	回答数
有	15
無	5
無回答	0
計	20

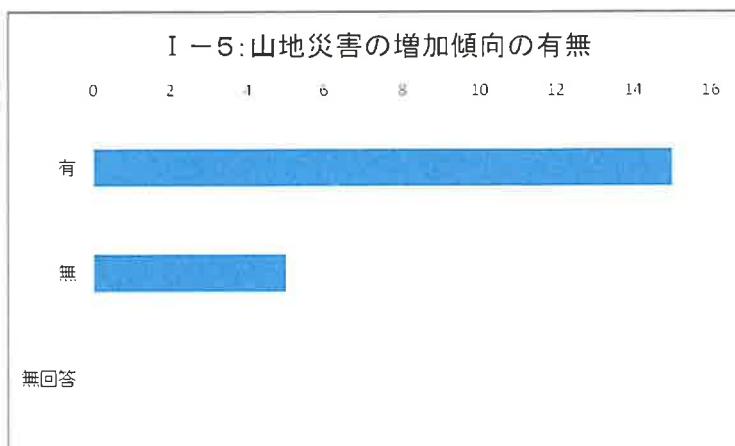


図 2.1.2 山地災害の増加傾向を実感することに関する回答

表 2.1.8 山地災害の増加傾向を実感することに関する具体的回答

県 No	回答内容
1	平成 29 年九州北部豪雨や平成 30 年北海道胆振東部地震、同年 7 月西日本豪雨など局所的な豪雨による山地災害が報道され、令和元年の台風 19 号で本県も記録的な豪雨を観測し山地災害が発生した。
3	平成 28 年の台風第 10 号や令和元年の台風第 19 号等に見られるこれまでに無い進路による大雨災害の発生
4	国道等への土砂流出を伴う土砂災害発生が H25,H29,30 に発生している。
6	集中豪雨の増加等、崩壊や土砂流出の可能性が高まっているとは思うが、防災対策の充実による未然防止等により、災害箇所（被害箇所数）は増加ばかりではない。（例 H16 災 約 650 箇所、H21 災 約 230 箇所、H30 災 約 170 箇所）
7	災害発生数に大きな変化はないが、激甚化しているように感じる。
8	全国の山地災害の報道により。
11	大雨や豪雨の発生頻度の高まり
12	雨量の増加、特に時間雨量の増加とその雨量が連続して降ることが多くなつたと感じられ、そのような豪雨の後は、災害の規模（崩壊の面積や深さ）や箇所数が多く発生している。
13	数十年に一回と言われる災害のサイクルが短くなっている。
14	平成 27 年から山地災害件数が年々増加している。（平成 27 年：47 件 令和元年：102 件）
15	局地的豪雨の増加
16	平成 30 年 7 月豪雨をはじめとする集中豪雨の発生頻度が増加していると感じています。
17	降雨量
18	平成 28 年、平成 30 年と県内の同じ地域で立て続けに 24 時間雨量記録を更新する豪雨が発生し、大規模な豪雨災害が発生した。
19	H27 関東・東北豪雨、H28.8 月台風、H29.10 月台風、令和元年東日本台風による山腹崩壊の発生
20	局所的集中豪雨（線状降雨帯など）で最大時間雨量 50mm を越えることが多發している。

(6) I-6：治山事業として、風倒木災害の予防や低減に貢献できる方法はありますか？

表 2.1.9 治山事業としての風倒木災害貢献案の回答内容

県 No	風倒木災害貢献案
1	保安林整備事業等により、森林の公益的機能を維持・造成するための森林整備を行い、気象災害を受けにくい森林へ誘導する。
2	保安林の適正な管理により、風倒木による被害軽減を図られるものと認識している。
3	保安林事業としてライフライン周辺の伐開に加え、永年に渡る保育〔管理〕を見込んだ低木林造成の新事業構築が想定されますが、地方自治体においてライフライン周辺森林を保安林指定し、なおかつ管理する必要が発生するため困難と思われます。
4	本数調整伐による適切な密度管理・形状比への誘導
5	治山事業は森林の育成を目的としているため、ライフライン沿いの除去を行う事業メニューが無い。
6	高齢林の適正管理と、流木捕捉式治山ダム等の予防対策実施。
7	なし
8	保安林における森林整備の促進
9	記述無し
10	道路沿いの保安林において、本数調整伐を実施することで、風倒木被害の軽減を図る。
11	本数調整伐等による森林の機能強化が該当する思われるが、ライフラインと接する森林の延長はとても長く、治山事業による貢献には限度がある。
12	保安林改良事業等で本数調整伐を行っているが、枝落しは行っていないため、林内の光環境の改善が薄いように見受けられる。このため、下層植生の繁茂も十分な発現効果に至っていないように感じられる。 本数調整伐の実施と併せ枝落しを行えば、上下（樹冠と根張り）のバランスや林床状態が改善され、風倒木被害等の減少が期待できるのではないかと思われる。
13	ライフラインを対象とした治山事業での風倒木対策は難しいように思われます。
14	荒廃渓流について、治山施設と渓畔林の整備を一体的に実施することで、流木被害の発生しにくい森林へ誘導する
15	保育事業による森林の健全な成長の維持
16	本数調整伐により、適切な立木密度が保たれた森林を整備すべきではないかと考えます。
17	なし
18	保安林に指定されている箇所で国県道などの保全対象があれば、保安林改良事業等で本数調整伐を行い枯損木等の除去を行うことが考えられる。
19	保安林整備が風倒木被害防止に貢献できるかというと、保安林がほぼ人家から離れていることが多いことから貢献できないと思う。
20	本数調整伐による密度管理や流木対策で貢献できると思われる。

(7) I-7：治山事業の中で、風倒木災害の予防又は低減に関連する事業を実施したことがありますか？

表 2. 1.10 治山事業として実施した風倒木対策事業

県 No	風倒木対策事業
1	保安林整備事業により、本数調整伐を実施し立木の肥大成長の促進を図った。
2	台風や豪雨等に生じた流木による下流域への被害軽減のための事業（流木対策）を実施している。（H29 年度より）
3	県単費による、ライフライン近接県有地の危険木伐採
4	保安林保育事業を活用した本数調整伐の実施
5	通常 30%で伐採を行うが、伐採率を 20%に落とし、伐採回数を増やす対策を行った。
6	平成 16 年の被害対応として、風倒木処理を実施した。
7	なし
8	保安林整備事業を実施。
9	記述無し
10	実施していません。
11	本数調整伐
12	保安林改良事業等による本数調整伐。（平成 15 年頃までは、状況により枝落しを同時に実施）
13	ありません。
14	渓流内の風倒木・人工林・危険木等の状況調査
15	なし
16	本数調整伐は実施していますが、現在の目的としては土砂流出の防止や水源の涵養が主目的であり、風倒木災害に特化して実施した事例はありません。」
17	本数調整伐
18	実施していない
19	ない。
20	本数調整伐、流木捕捉式治山ダムの設置

(8) I-8：治山事業の計画規模を保全対象の重要度などを考慮して変化させた事例はありますか？

表 2. 1.11 保全対象の重要度を考慮して計画規模を変化させた治山事業の事例

県 No	計画規模の変化事例	県 No	計画規模の変化事例
1	無し	11	無し
2	無し	12	無し
3	無し	13	無し
4	無し	14	記述無し
5	無し	15	無し
6	無し	16	雨量強度はすべて 100 年確率で計算しており、地区によって変化させていることはありません。
7	無し	17	無し
8	無し	18	無し
9	無し	19	わからない。
10	無し	20	無し

(9) I-9：保全対象の重要度などを考慮して、治山施設（山腹工、渓間工）を通常より高規格化した事例はありますか？

表 2.1.12 保全対象の重要度を考慮して高規格化した治山事業の事例

県No	高規格化事例
1	小規模な人家裏の山腹工事では、直接保全対象の有無で、鋼製自在枠とかご枠等を区分して実施する場合がある。
2	無し
3	山腹直下の人家、公共施設等保護のため、法枠工の高規格化を実施
4	無し
5	無し
6	治山ダムの放水路規格決定に必要な流出係数について、市街化区域へ流入する渓流と通常渓流は変えている。
7	記述無し
8	土留工の種別を保全対象の距離に応じ選定している。
9	無し
10	無し
11	無し
12	これまで事例はなかったが、令和元年8月災で土石流が発生した箇所において、渓流荒廃状況・保全対象状況を考慮し砂防タイプで設計する方針。
13	無し
14	記述無し
15	無し
16	渓間工、山腹工（地すべり対策工を除く）では、基本的に保全対象の重要度により高規格化をすることはありません。 ただし、地すべり対策工においては下方の保全対象によっては目標安全率を変えています。
17	土砂法の特別警戒区域で、治山ダムを砂防タイプで実施している事例あり
18	無し
19	無し
20	無し

2. 1. 2 近年発生した山地災害の個別情報

表 2. 1.13 近年発生した山地災害情報（1）

県 No	災害 No	種 類	詳細内容	災害規模	誘因規模	発生場所	日時
1	1	土石流	渓流の上流部で崩壊が発生し、立木と土石が一体となって渓流を流下するともに、流出した土砂により人家1戸が全壊した。	崩壊地から約800m流下し、出土砂はおよそ5,000m ³	最大24時間雨量269mm（最大時間雨量32mm）、観測所：原町	37°40'15"N 140°52'57"E	2019/10/13
1	2	崩壊	豪雨による浸透水等の影響により、山腹斜面が崩壊した。	山腹崩壊0.07ha、崩壊土砂量約1,500m ³	最大24時間雨量378mm（最大時間雨量45mm）、観測所：鷺倉	37°41'3"N 140°19'30"E	2019/10/13
1	3	土石流	渓流の上流部（国有林）で山腹崩壊が発生、流出した土砂が渓流を流下し国道まで達した。	崩壊の規模 流出した土砂量 およそ1,000m ³	最大24時間雨量257mm（最大時間雨量37.5mm）、観測所：山田	35°56'24"N 140°39'56"E	2019/10/13
2	1	地すべり	H29台風第21号により山腹崩壊（地すべり）が発生し、既設治山施設（土留工等）が被災した。	幅150m、長さ470m、移動層厚15m、面積60,000m ² 、土砂量180,000m ³	連続雨量333mm（10/22 2時から10/23 19時）、最大24時間雨量290mm（10/22 13時～）、最大時間雨量46mm（10/23 5時～）	糸魚川市釜沢 37°00'14"N 137°55'10"E	2017/10/23 18時頃 or 未明～早朝
2	2	地すべり	H29台風第21号により山腹崩壊（地すべり）が発生し、既設治山施設（土留工等）が被災した。	幅70m、長さ90m、移動層厚5m、面積3,500m ² 、土砂量18,000m ³	最大24時間雨量226mm（10/22 10時～）、最大時間雨量23mm（10/23 2時～）	糸魚川市横 37°04'13"N 138°03'12"E	2017/10/23 未明～早朝
2	3	地すべり	H29台風第21号により山腹崩壊（地すべり）が発生し、既設治山施設（谷止工）が被災した。	幅200m、長さ300m、移動層厚3m、面積60,000m ² 、土砂量180,000m ³	連続雨量283mm（10/22 5時から10/23 22時）、最大24時間雨量245mm（10/22 9時～）、最大時間雨量29mm（10/23 3時～）	上越市名立区東飛山 37°04'20"N 138°06'27"E	2017/10/23 未明～早朝
3	1	土石流	令和元年10月12日から13日にかけての大雪災害。釜石市佐須地区では、土石流の発生により渓流直下の人家及び市道へ土砂が流出する被害が発生し、道路は通行止めとなり佐須地区は一時孤立集落となった。	-	令和元年10月12日～13日の最大24時間雨量305mm	39°13'32.6"N 141°55'13.9"E	2019/10/13 未明～早朝
4	1	土石流	平成30年西日本豪雨により山腹崩壊が発生、土石流が流下し、町有レクリエーション施設が被災した。	流出土砂量750m ³	24時間雨量334mm（7月5日1時～6日1時）、最大時間雨量45mm（同5日12時～13時）、累積雨量557mm（同4日6時～8日2時）	能勢町山辺地区 34°59'42.2"N 135°23'19.3"E	2018/7/6

表 2.1.14 近年発生した山地災害情報（2）

県 No	災害 No	種 類	詳細内容	災害規模	誘因規模	発生場所	日時
4	2	風倒木	平成30年台風21号の暴風により、府北部地域を中心に風倒木被害が発生	府域全体で、森林における風倒木被害 728ha (12市町村・180箇所)	最大瞬間風速 58.1m (関西国際空港)	高槻市川久保地区 34°54'55.3"N 135°37'19.8"E の周辺 91.3ha	2018/9/4
5	1	崩壊	山腹崩壊	1,500m ³	24時間雨量 539mm 時間雨量 43mm	33°57'23" N 134°14'59" E	2019/8/15 正午～夕方
5	2	地すべり	記述無し	300m ³	24時間雨量 106mm 時間雨量 26mm	33°59'14" N 133°56'14" E	2017/9/19 正午～夕方
5	3	土石流	異常出水	150m ³	24時間 133mm	34°13'12" N 134°31'29" E	2018/7/6 正午～夕方
6	1	土石流	溪流を土砂・流木が流下	流木・土砂捕捉(流出)量 約 2,500m ³	連続雨量 422mm, 最大時間雨量 91mm	丹波市島町中竹田 135°6'29.2" N 35°15'31.2" E	2014/8/17 未明～早朝
7	1	崩壊	三重県多気郡大台町（東又谷）2011年9月の台風12号に伴う豪雨により発生した大規模な深層崩壊。	崩壊の規模 (流出土砂量 1,950,000m ³)	2011年8月31日～9月4日までの連続雨量が 1620mm。 最大時間雨量 83mm (宮川観測所)	34.2876914, 136.2541808	記述無し
7	2	崩壊	三重県多気郡大台町（春日谷）2011年9月の台風12号に伴う豪雨により発生した大規模な深層崩壊。	流出土砂量 45,000m ³	2011年8月31日～9月4日までの連続雨量が 1620mm。 最大時間雨量 83mm (宮川観測所)	34.3049308, 136.2894142	記述無し
7	3	崩壊	三重県北牟婁郡紀北町（鍛冶屋又）2011年9月の台風12号に伴う豪雨により発生した大規模な深層崩壊。	崩壊の規模 (流出土砂量 100,000m ³)	24時間雨量 519.5mm 最大時間雨量 64.5mm	記述無し	記述無し
8	1	崩壊	記述無し	0.08ha	24時間雨量 168mm	阿蘇市南宮原字村上 32.992507, 131.064919	2018/7/6 夜中
8	2	崩壊	記述無	流出土砂 600m ³	24時間雨量 344mm	美里町大字早楠字大露 32.588376, 130.872985	2019/8/15 夜中
8	3	崩壊	記述無し	0.24ha	24時間雨量 390mm	山鹿市鹿北町多久字小今村 33.092623, 130.734825	2018/7/6 夜中
9	1	土石流	長時間にわたる豪雨により山腹崩壊が発生し、多量の土砂と流木が土石流となり約 200m にわたって流下し、直下の民家を直撃した。	山腹崩壊： 0.02ha, 渓流荒廃： 0.15ha (0.15km)	24時間雨量 243.0mm 最大時間雨量 45.0mm	高萩市福平 36°42'35.2"N 140°39'08.6"E	2012/6/20

表 2.1.15 近年発生した山地災害情報（3）

県 No	災害 No	種 類	詳細内容	災害規模	誘因規模	発生場所	日時
9	2	土石流	長時間にわたる豪雨により山腹崩壊が発生し、多量の土砂と流木が土石流となり約400mにわたって流下し、直下の県道へ流れ出した。	山腹崩壊： 0.03ha, 渓流荒廃： 0.80ha (0.40km)	24時間雨量 456.5mm 最大時間雨量 56.5mm	北茨城市関本町 小川 36°54'51.2"N 140°34'58.7"E	2019/10/2
9	3	土石流	長時間にわたる豪雨により山腹崩壊が発生し、多量の土砂と流木が下方の渓流に流出した。	山腹崩壊： 0.10ha, 渓流荒廃： 0.12ha (0.12km)	24時間雨量 191.5mm 最大時間雨量 32.0mm	笠間市上加賀田 (36.334992, 140.246223)	2019/10/20
10	1	土石流	台風による豪雨で渓岸が侵食され、土砂が下部の県道に流出した。	流出した土砂が下部の県道上に堆積したため、一時通行止めとなり、集落約40戸が孤立した。 流出土砂量は不明。	最大24時間雨量： 402mm, 最大時間雨量： 80mm (気象庁観測所：鍵穴)	34.996N, 138.246E	2014/10/6
10	2	土石流	台風による豪雨で渓岸が侵食され、土砂が下部の人家及び市道に流出した。	流出した土砂が下部の民家及び市道に堆積した。市道は一時通行止めとなり、集落約12戸が孤立した。 流出土砂量は不明。	最大24時間雨量： 391mm, 最大時間雨量： 61mm (気象庁観測所：清水)	35.125N, 138.457E	2014/10/6
10	3	土石流	台風による豪雨で渓岸が侵食され、土砂が下部の県道に流出した。	流出した土砂が下部の県道上に堆積し、一時通行止めとなつた。流出土砂量は不明。	最大24時間雨量： 260mm, 最大時間雨量： 64mm (気象庁観測所：梅ヶ島)	35.228N, 138.345E	2018/10/1
11	1	崩壊	山地斜面が崩壊し、斜面下の人家まで土砂が到達した。	崩壊面積 250m ²	24時間雨量 181.5mm(千葉)	35.509150, 140.257249	2019/10/25
11	2	崩壊	台風に係る大雨による治山施設の隣接地の斜面崩壊	山腹崩壊面積 0.03ha	最大24時間雨量 182mm, 最大1時間雨量 44mm(観測地点：千葉)	35°29'25.9"N 140°14'51.7"E	2019/10/25
11	3	崩壊	令和元年10月25日発生の豪雨の影響により、谷地形で斜面崩壊が発生した	崩壊の規模(流出土砂量) 2,000m ³	24時間累積雨量 246.5mm(鴨川市)	35.135663, 140.103393	2019/10/25 正午～夕方
12	1	土石流	平成18年9月16日、最大時間雨量92mm、日雨量351mm(実質降雨時間5時間)の豪雨があり、山腹崩壊約0.2haが発生、その土石が約2km下流まで流下し、人家・道路・農地等に甚大な被害が発生した。	山腹崩壊約 0.2ha, 崩壊土砂量約3,000m ³ , 流出土砂量約 10,000m ³	最大時間雨量 92mm, 24時間連続雨量 351mm, 午前7時～午前11時までの4時間で323mm	33.345064, 130.051719	2006/9/16 11:00:00

表 2.1.16 近年発生した山地災害情報（4）

県 No	災害 No	種 類	詳細内容	災害規模	誘因規模	発生場所	日時
13	1	地すべり	降雨や地震等明らかな予兆のない状態で山腹斜面が崩壊した。	幅約 160m, 長さ(水平距離:堆積域含む)約 220m, 最大深度約 35m 移動土塊量約 13 万 m ³	記載なし	33.406994 131.098282	2018/4/11 4:00:00
13	2	崩壊	梅雨前線豪雨により山腹工部分が崩壊し、治山ダムも損壊し下流保全対象に被害をもたらした。	山腹工 0.5ha 谷止工 2 基	2 日間雨量 499mm 中津市山国町釣鐘山	33.439286 130.994150	2017/7/5 夜中
13	3	土石流	豪雨により山腹斜面が崩壊し土石流となって流下した	荒廃渓流面積 1.5ha	24 時間 87mm 由布市 由布院	33.281244 131.373628	2012/7/3
14	1	土石流	渓流内からの土砂流出	土砂流出 荒廃渓流長 150m 荒廃渓流幅 10m	連続雨量 137.5mm 最大雨量 134mm	36°42'24"N, 138°05'40"E 周辺	2019/10/12
14	2	崩壊	既往山腹施設の被災	崩壊の規模 斜面長 110m, 幅 30m~60m, 崩壊土量 約 3,000m ³	連続雨量 173.0mm 最大雨量 145.0mm	36°48'41"N, 137°53'36"E 周辺	2018/7/5
15	1	崩壊	集水地形が広がつておき、集中豪雨により表流水・地下水が集中し、地山が飽和状態となり崩壊した。	崩壊土砂量 約 1,300m ³	最大 24 時間雨量 245.0mm	35°57'38.2"N 136°01'03.9"E	2018/7/7
16	1	土石流	平成 30 年 7 月豪雨により、斜面崩壊が発生したことにより土石流が発生し、崩壊土砂が渓流を浸食しながら流下して、下方の人家が全壊した	山腹崩壊面積 0.1ha, 渓流浸食面積 0.4ha, 崩壊土砂量 約 10,000m ³	最大 24 時間雨量 336mm (7/6 8 時~7/7 8 時), 最大時間雨量 39mm (7/7 2 時~3 時), 累計雨量 465mm (7/3~7/8)	西予市宇和町岩木 N:34.00849, E132.480978	2018/7/6
17	1	土石流	平成 29 年九州北部豪雨	山腹崩壊地 約 357ha, 発生土砂量, 福岡県内で 約 1,000 万 m ³ :研究グループ報告	福岡県朝倉市で 24 時間降水量 545.5mm	福岡県朝倉市及び東峰村並びに大分県日田市の森林地域	2018/7/5
18	1	崩壊	記述無し	流出土砂量 約 7,000m ³ , 既設土留工 約 200m 被災	24 時間雨量 370mm, 時間雨量 73mm	38°40'02.0"N 140°08'44.5"E	2019/8/6
19	1	崩壊	令和元年東日本台風に伴う大雨により最大長さ約 550m の斜面崩壊が発生した。	記述無し	24 時間雨量 420mm	37.913 140.697	2019/10/12
20	1	崩壊	平成 30 年 9 月の台風 24 号により山腹崩壊が発生	山腹崩壊面積 0.28ha	最大時間雨量 49mm, 最大 24 時間雨量 228mm, 富山観測所	愛知県北設楽郡豊根村富山大沼 35.203, 137.759	2018/9/30
20	2	崩壊	平成 30 年 9 月の台風 24 号により山腹崩壊が発生	山腹崩壊面積 0.3ha	最大時間雨量 54mm, 最大 24 時間雨量 220mm, 東栄観測	愛知県北設楽郡東栄町大字足込 字大久名 35.1122, 137.6923	2018/9/30

表 2. 1.17 施設効果を把握していると回答した治山施設の情報

県 No	災害 No	効果施設：効果の詳細	保全対象の状況
1	1	谷止工:土石流の流下速度の低減, 流出土砂等の補足 床固工:土石流の流下速度の低減, 流出土砂等の補足	人家1戸(距離 50m), 市道(距離 50m), 二級河川(距離 300m)
1	2	土留工:土留工(片のり枠)背面に大部分の崩落土砂が堆積	一級河川(距離100m)
3	1	谷止工:流出土砂を捕捉	民家6棟(距離 20~200m), 市道(200m)
4	1	谷止工:土石の捕捉(一部)	町有施設1件(距離 100~300m)
5	1	谷止工:今年度実施予定 のり枠工:次年度実施予定	—
5	2	のり枠工:資料無し	林道100m
5	3	谷止工	国道150m
6	1	谷止工:H24 完成した治山ダムが流木・土砂を捕捉	治山施設から約 100m, 家屋 15棟, 道路
7	1	谷止工 : 2008 及び 2009 に施工した谷止工により 渓流荒廃が防止された。	人家 12 戸 (距離 300~600 m), 国道 (距離 100m), 一級河川 (距離 100m)
8	2	谷止工 : 土砂を捕捉	
10	1	谷止工 : 流出した土砂の捕捉による被害軽減 土留工 : 山腹崩壊の抑制	県道 (距離約 50m)
10	2	谷止工 : 流出した土砂の捕捉による被害軽減	民家 1 戸 (距離約 100m), 市道 (距離約 120m)
10	3	谷止工 : 流出した土砂の捕捉による被害軽減 吹付工 : 山腹崩壊の抑制	県道 (距離約 20m)
11	1	土留工 : 施工地では斜面崩壊が発生しなかった。 のり枠工 : 施工地では斜面崩壊が発生しなかった。	民家 1 件 (距離 10m) , 市道 (距離 30m)
11	2	のり枠工 : 隣接斜面については崩壊が発生したが施 工地については崩壊の発生が抑止された。	人家 1 戸 (距離 10~20m)
11	3	谷止工 : 土砂・立木を捕捉し, 流出拡大を防止	—
12	1	谷止工 : 治山ダム 6 基による土石流の補足, 渓岸侵 食の抑止	人家 4 戸 (距離 700~800m), 一級河川 (距離 1000m)
13	3	谷止工 : 土石流や流木を補足した 床固工 : 土石流や流木を補足した	民家 22 戸 (距離 400m~2000 m) 県道 (距離 300m) 公表資料は大分県ホームページ を御覧ください。 www.pref.oita.jp/uploaded/life/2087270_2740324_mis_c.pdf
14	1	床固工 : 既設床固工 2 基により, 上流からの流木(約 125m 3)を捕捉した	市道 (距離 70m)
14	2	土留工 : 既設土留工 1 基により, 上流からの崩土を 捕捉した	
17	1	谷止工 : 土砂や流木を捕捉	—

表 2.1.18 施設効果を発揮しなかったことを把握していると回答された治山施設情報

県 No	災害 No	非効果施設：非効果の詳細	保全対象の状況
1	1	護岸工：流出土砂の堆積により機能不全 流路工：流出土砂の堆積により機能不全	人家1戸(距離 150m), 市道(距離 50m)
1	2	吹付工：施行斜面の崩壊 落石防止工：流出土砂による倒壊	市道(直下)
13	1	落石防止工：崩壊土砂量が多く対応できなかった。	
16	1	床固工：上部からの崩壊土砂が多く、越流した 流路工：大量の土砂が流下した痕跡あり	民家4戸(50m, 市道100m)

表 2.1.19 施設が被災したと回答した施設の情報

県 No	災害 No	被災施設：被災の詳細	保全対象の状況
1	1	谷止工：土石流の衝撃により破堤又は一部欠損 床固工：土石流の衝撃により一部欠損	人家全壊1戸(下流へ距離 150m), 市道(下流へ距離 50m)
1	2	吹付工：施行斜面の崩壊 落石防止工：流出土砂による倒壊	市道(直下), 一級河川(下流へ100m)
2	1	谷止工：地すべり土塊により倒壊 流路工：崩壊土砂により埋没 土留工：地すべり土塊により倒壊 水路工：地すべり土塊により下方へ流出	二級河川海川 閉塞(下線の約半分) 被災した施設のうち最下流部にあった流路工の下端から海川まで、約350m
2	2	土留工：地すべり土塊により倒壊 水路工：地すべり土塊により下方へ流出	農道 50m 埋塞閉塞 被災した施設のうち最下流部にあった土留工から農道まで、約60m
2	3	谷止工：地すべり土塊により倒壊	無し
5	3	谷止工：右岸の洗掘	無し
8	1	土留工：土留工破損 水路工：水路工破損	記載なし
8	2	記載なし	林道(下流へ距離 20m)
9	1	記載なし	民家全壊1件(下流へ距離 200m)
9	2	記載なし	県道(下流へ距離 400m)
12	1	谷止工：間詰工の欠損	該当なし
13	1	落石防止工：崩壊土砂量が多く対応できなかった。	下流側 10~20m 公表資料は大分県ホームページを御覧ください。 www.pref.oita.jp/site/yabakei
13	2	谷止工：山腹崩壊による土砂が土石流となり損壊した。 土留工：山腹崩壊により損壊した。	下流へ 50m 公表資料は大分県ホームページを御覧ください。 www.pref.oita.jp/site/11612kiban/mukashikari-chisan.html
14	2	水路工：水路工 約 300m 被災 のり枠工：のり枠工 約 2,000m ² 被災	村道(距離 300m)
17	1	谷止工：規模が大きく点検中 以下同 床固工：〃 護岸工：〃 流路工：〃 土留工：〃 水路工：〃 のり枠工：〃 吹付工：〃	記載なし
18	1	土留工：既設土留工約 200m が損傷し一部崩落した	保全対象の農地までの距離約 30m, 約 7,000m ³ の土砂が流出した

※この他、静岡県及び大分県より災害資料の提供があった（未整理）。

2. 2 治山事業における新技術利用の実態調査結果

(1) I – 2 : 土砂災害や流木災害の予測や軽減に利用している空間情報技術の具体的な事例

表 2. 2.1 災害予測・軽減に対する空間情報技術の利用事例

県名	土砂災害での利用事例	流木災害での利用事例
兵庫県	兵庫県では、H24～25頃のレーザ測量で取得したデータから、全県土分の1mメッシュデータを作成し、R2.1.10にオープンデータとしてG空間情報センターで公開しました。データはDSM, DEM, 標高値データ, CS立体図の4種類です。この3次元データを使用して、H30.7に発生した豪雨災害での被災箇所で2時期のデータを作成し、差分解析による崩壊箇所把握等を委託により行いました。また、治山事業計画箇所では、CS立体図(微地形表現図)を地形判読に利用している。	
長野県	長野県民有林2643Km2を対象に合成開口レーダ画像を用いた差分干渉SAR解析を行い複数時期の解析情報から地表変動のおそれのある箇所を把握、モニタリングすることを目的とした。解析で得た干渉画像及び変動量図から地すべり地形やクリープ等変動の可能性がある範囲を140箇所判読し、GISデータを作成した。抽出した箇所周辺の微地形図判読を行い変動地形を把握、総合的な地盤変動の可能性を評価した。	航空レーザ測量により把握した地形データに加え、森林の林相区分や疎密度等の情報を解析することで、山地災害や流木災害の危険性が高い箇所を抽出し、事業化するなど事前防災に活用した。
愛知県	航空レーザ計測解析により作成した微地形詳細図から山地荒廃箇所を抽出して治山事業計画の作成に活用している。	

(2) II – 2 : 土砂災害や流木災害の予測や軽減に利用しているICT等の情報伝達技術の具体的な事例

表 2. 2.2 災害予測・軽減に対するICT等の情報伝達技術の利用事例

県名	土砂災害での利用事例	流木災害での利用事例
兵庫県	上記Iで説明した地理空間情報のCS立体図を、宮崎県が管理するGIS(ひなたGIS)に登載してもらったことから、現地踏査の際にスマートフォンを利用して、自分の現在地周辺の微地形を簡易に確認することができる。	
大分県	既設治山ダムに土石流センサを設置し、センサが切断した場合、土石流警報メールが関係者(市・消防団・県出先等)に通報される。	
愛知県	航空レーザ計測やドローンによる写真測量を使って治山事業計画を作成している。	

3. 山地災害と治山施設の実態調査結果の分析

3.1 治山事業としての風倒木災害対策

表 3.1.1 は、アンケート項目 I-6 の回答の中で有効な回答を抜粋したものである。風倒木災害の低減に貢献できるとする意見には保安林整備事業での貢献という意見が圧倒的に多い。

表 3.1.1 治山事業としての風倒木災害貢献案に関するアンケート結果抜粋

県 No	風倒木災害貢献案
1	保安林整備事業等により、森林の公益的機能を維持・造成するための森林整備を行い、気象災害を受けにくい森林へ誘導する。
2	保安林の適正な管理により、風倒木による被害軽減を図られるものと認識している。
3	保安林事業としてライフルライン周辺の伐開に加え、永年に渡る保育〔管理〕を見込んだ低木林造成の新事業構築が想定されますが、地方自治体においてライフルライン周辺森林を保安林指定し、なおかつ管理する必要が発生するため困難と思われます。
4	本数調整伐による適切な密度管理・形状比への誘導
5	治山事業は森林の育成を目的としているため、ライフルライン沿いの除去を行う事業メニューがない。
6	高齢林の適正管理と、流木捕捉式治山ダム等の予防対策実施。
8	保安林における森林整備の促進
10	道路沿いの保安林において、本数調整伐を実施することで、風倒木被害の軽減を図る。
11	本数調整伐等による森林の機能強化が該当する思われるが、ライフルラインと接する森林の延長はとても長く、治山事業による貢献には限度がある。
12	保安林改良事業等で本数調整伐を行っているが、枝落しは行っていないため、林内の光環境の改善が薄いように見受けられる。このため、下層植生の繁茂も十分な発現効果に至っていないように感じられる。 本数調整伐の実施と併せ枝落しを行えば、上下（樹冠と根張り）のバランスや林床状態が改善され、風倒木被害等の減少が期待できるのではないかと思われる。
13	ライフルラインを対象とした治山事業での風倒木対策は難しいように思われます。
14	荒廃渓流について、治山施設と渓畔林の整備を一体的に実施することで、流木被害の発生しにくい森林へ誘導する
15	保育事業による森林の健全な成長の維持
16	本数調整伐により、適切な立木密度が保たれた森林を整備すべきではないかと考えます。
18	保安林に指定されている箇所で国県道などの保全対象があれば、保安林改良事業等で本数調整伐を行い枯損木等の除去を行うことが考えられる。
19	保安林整備が風倒木被害防止に貢献できるかというと、保安林がほぼ人家から離れていることが多いことから貢献できないと思う。
20	本数調整伐による密度管理や流木対策で貢献できると思われる。

※青字=貢献案、赤字=非貢献案

17 種類の保安林の種類を以下に示すが、この中で青字の保安林が、風倒木災害（流木災害を含む）対策への貢献が特に期待できる保安林である。

<保安林の種類: 17 種類>

- ①水源かん養保安林、②土砂流出防備保安林、③土砂崩壊防備保安林、④飛砂防備保安林、
 ⑤防風保安林、⑥水害防備保安林、⑦潮害防備保安林、⑧干害防備保安林、⑨防雪保安林、
 ⑩防霧保安林、⑪なだれ防止保安林、⑫落石防止保安林、⑬防火保安林、⑭魚つき保安林、
 ⑮航行目標保安林、⑯保健保安林、⑰風致保安林

表 3. 1.2 治山事業としてお風倒木対策事業の例

県 No	風倒木対策事業
1	保安林整備事業により、本数調整伐を実施し立木の肥大成長の促進を図った。
2	台風や豪雨等に生じた流木による下流域への被害軽減のための事業（流木対策）を実施している。（H29 年度より）
3	県単費による、ライフライン近接保有地の危険木伐採
4	保安林保育事業を活用した本数調整伐の実施
5	通常 30%で伐採を行うが、伐採率を 20%に落とし、伐採回数を増やす対策を行った。
6	平成 16 年の被害対応として、風倒木処理を実施した。
8	保安林整備事業を実施。
11	本数調整伐
12	保安林改良事業等による本数調整伐。（平成 15 年頃までは、状況により枝落しを同時に実施）
14	渓流内の風倒木・人工林・危険木等の状況調査
16	本数調整伐は実施していますが、現在の目的としては土砂流出の防止や水源の涵養が主目的であり、風倒木災害に特化して実施した事例はありません。」
17	本数調整伐
20	本数調整伐、流木捕捉式治山ダムの設置

3. 2 保全対象の重要度を考慮した治山事業

アンケート結果では保全対象の重要度に応じて計画規模（雨量、流量）を変化させた事例はゼロであった。しかし、保全対象の重要度などを考慮して、治山施設（山腹工、渓間工）を通常より高規格化した事例はいくつか存在した。表 3. 2.1 にその結果を示す。

表 3. 2.1 保全対象の重要度を考慮して治山施設を高規格化した事例

県 No	高規格化事例
1	小規模な人家裏の山腹工事では、直接保全対象の有無で、鋼製自在枠とかご枠等を区分して実施する場合がある。
3	山腹直下の人家、公共施設等保護のため、法枠工の高規格化を実施
6	治山ダムの放水路規格決定に必要な流出係数について、市街化区域へ流入する渓流と通常渓流は変えている。
8	土留工の種別を保全対象の距離に応じ選定している。
12	これまで事例はなかったが、令和元年 8 月災で土石流が発生した箇所において、渓流荒廃状況・保全対象状況を考慮し砂防タイプで設計する方針。
17	土砂法の特別警戒区域で、治山ダムを砂防タイプで実施している事例あり。

本研究開発で、治山事業において風倒木そのものの軽減を目指すのか、風倒木によるライフライン等の保全対象の被害の軽減を目指すかを明確にする必要がある。本研究開発では、風倒木によるライフライン等の保全対象への直接被害の軽減と、流木の発生源対策に関連する治山事業を対象とする。

3.3 近年発生した山地災害情報の分析

3.3.1 24時間雨量と土砂量の関係

アンケート結果の災害情報を基に誘因である24時間雨量と流出土砂量の関係を調べた。なお、アンケート結果の災害情報に土砂量の記載が無く、崩壊面積のみの場合は以下のグゼッティーの経験式を用いて土砂量を推定した。

<グゼッティーの経験式>

$$V = 0.074 A^{1.45}$$

ここに、 V =生産土砂量(m^3)、 A :斜面崩壊および土石流の崩壊域の面積(m^2)

図3.3.1は1箇所の土石流災害における流出土砂量と24時間雨量の関係を見たものである。一部の県では被災地域全体の流出土砂量が記載されたケースもあったが、これは分析対象から除外している。このグラフを見る限り、大きな傾向は見られない。

図3.3.2は1箇所の崩壊事例における流出土砂量と24時間雨量の関係を見たものである。全体に24時間雨量が増えると土砂量も増加する傾向にある。上限と下限の包絡線の式を図中に示す。

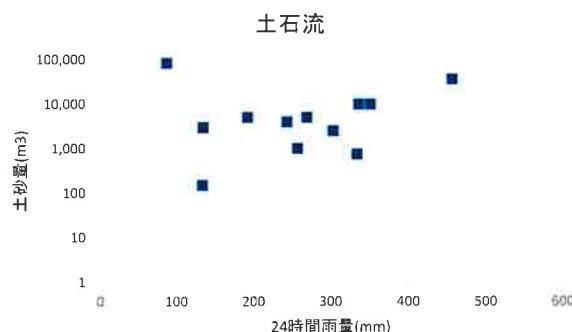


図3.3.1 流出土砂量と24時間雨量の関係（土石流）

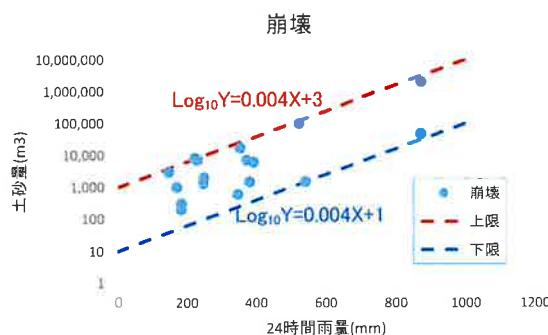


図3.3.2 流出土砂量と24時間雨量の関係（崩壊）

図 3.3.3 は先の図 3.3.1 と図 3.3.2 を合成したグラフである。上限と下限の包絡線は図 3.3.2 と同じく崩壊事例に対する包絡線であるが、土石流事例についてもほとんどの事例がこの包絡線範囲内の土砂量となっている。

土石流で 1 事例だけが包絡線の外にあるが、これはアンケート結果の災害の詳細内容に「豪雨により山腹斜面が崩壊し土石流となって流下した」と記述され、災害規模欄に「荒廃渓流面積 1.5ha」と記載されていた情報を先述のグゼッティーの経験式を元に土砂量に換算したものである。雨量データは最寄りの気象庁観測所の観測値であるが、24 時間雨量が 87.5mm、最大 1 時間雨量が 45.5mm と、当該地域で土石流が発生する雨量としては小さい雨量である。この事例のデータの信頼性は低い。この事例のデータを除くと、今回のアンケート調査における災害事例では、崩壊と土石流において 24 時間雨量と流出土砂量の最大値の間に緩やかな相関が認められる。

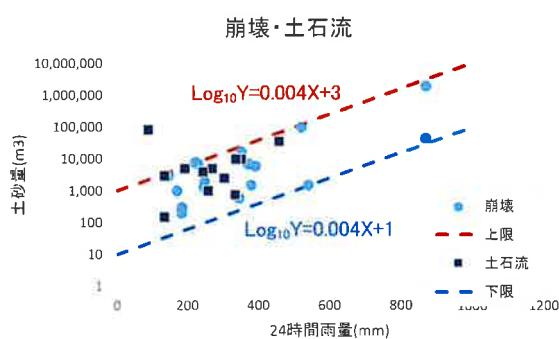


図 3.3.3 流出土砂量と 24 時間雨量の関係（土石流・崩壊）

この関係図は各県のアンケート結果に基づく分析結果であり、データの質が不明であるため、グラフの信頼性については不明である。

3.3.2 治山施設と最寄りの保全対象との距離の関係

治山施設が効果を発揮した事例、発揮しなかった事例、被災した事例のそれぞれについて、治山施設と最寄りの保全対象までの距離と保全対象の種類の関係を調べた（図3.3.4～図3.3.6）。施設効果の有無や被災の有無に関係なく、保全対象が近接する場合と100～700mと若干はなれている場合がある。

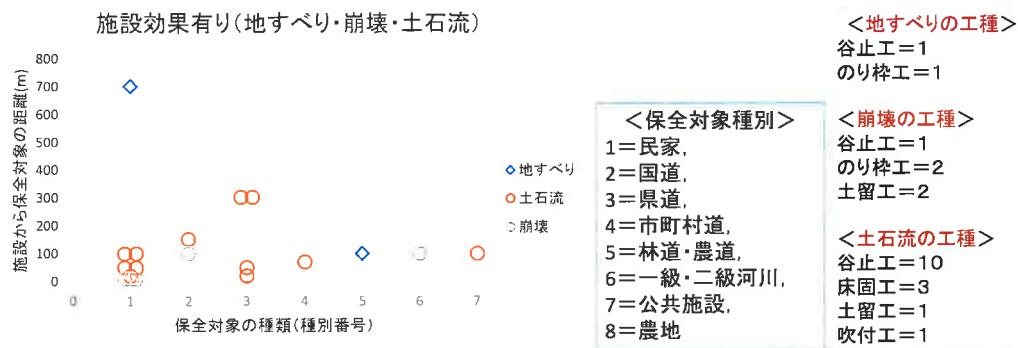


図3.3.4 「施設効果を発揮した事例を把握している」と回答された施設の最寄りの保全対象と距離

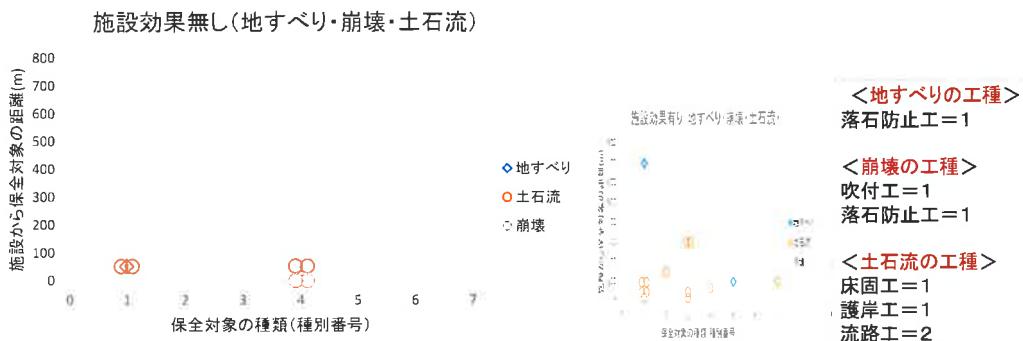


図3.3.5 「施設効果を発揮しなかった事例を把握している」と回答された施設の最寄りの保全対象と距離

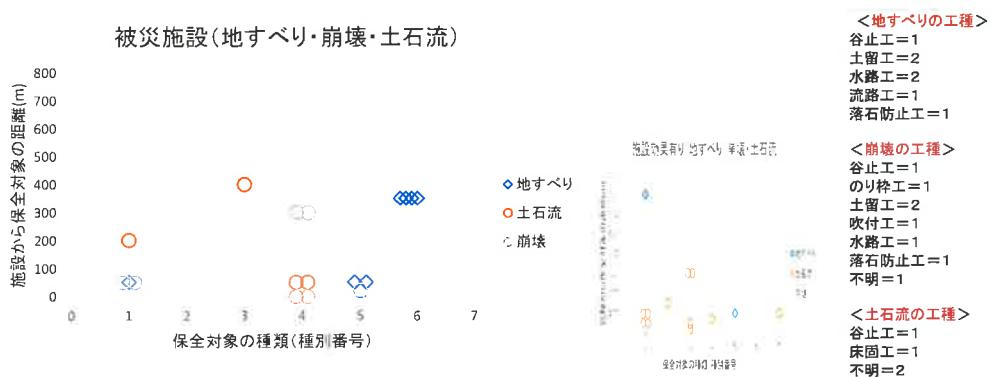


図3.3.6 「治山施設が被災した事例を把握している」と回答された施設の最寄りの保全対象と距離

「2. 山地災害と治山施設の実態調査及びアンケート結果」に掲載した、施設の効果に関するアンケート結果を以下に再掲する。

表 3.3.1 「施設効果を発揮した事例を把握している」と回答された施設の状況

県No	災害No	効果施設：効果の詳細	保全対象の状況
1	1	谷止工:土石流の流下速度の低減、流出土砂等の補足 床固工:土石流の流下速度の低減、流出土砂等の補足	人家1戸(距離 50m), 市道(距離 50m), 二級河川(距離 300m)
1	2	土留工:土留工(片のり枠)背面に大部分の崩落土砂が堆積	一級河川(距離100m)
3	1	谷止工:流出土砂を捕捉	民家6棟(距離 20~200m), 市道(200m)
4	1	谷止工:土石の捕捉(一部)	町有施設1件(距離 100~300m)
5	1	谷止工:今年度実施予定 のり枠工:次年度実施予定	—
5	2	のり枠工:資料無し	林道100m
5	3	谷止工	国道150m
6	1	谷止工:H24 完成した治山ダムが流木・土砂を捕捉	治山施設から約 100m, 家屋 15 棟, 道路
7	1	谷止工:2008 及び 2009 に施工した谷止工により渓流荒廃が防止された。	人家 12 戸(距離 300~600m), 国道(距離 100m), 一級河川(距離 100m)
8	2	谷止工:土砂を捕捉	
10	1	谷止工:流出した土砂の捕捉による被害軽減 土留工:山腹崩壊の抑制	県道(距離約 50m)
10	2	谷止工:流出した土砂の捕捉による被害軽減	民家 1 戸(距離約 100m), 市道(距離約 120m)
10	3	谷止工:流出した土砂の捕捉による被害軽減 吹付工:山腹崩壊の抑制	県道(距離約 20m)
11	1	土留工:施工地では斜面崩壊が発生しなかった。 のり枠工:施工地では斜面崩壊が発生しなかった。	民家 1 件(距離 10m), 市道(距離 30m)
11	2	のり枠工:隣接斜面については崩壊が発生したが施工地については崩壊の発生が抑止された。	人家 1 戸(距離 10~20m)
11	3	谷止工:土砂・立木を捕捉し, 流出拡大を防止	—
12	1	谷止工:治山ダム 6 基による土石流の補足, 渓岸侵食の抑止	人家 4 戸(距離 700~800m), 一級河川(距離 1000m)
13	3	谷止工:土石流や流木を補足した 床固工:土石流や流木を補足した	民家 22 戸(距離 400m~2000m) 県道(距離 300m) 公表資料は大分県ホームページを御覧ください。 www.pref.oita.jp/uploaded/life/2087270_2740324_misc.pdf
14	1	床固工:既設床固工 2 基により, 上流からの流木(約 125m 3)を捕捉した	市道(距離 70m)
14	2	土留工:既設土留工 1 基により, 上流からの崩土を捕捉した	
17	1	谷止工:土砂や流木を捕捉	—

表 3.3.2 「施設効果を発揮しなかった事例を把握している」と回答された施設の状況

県No	災害No	非効果施設：非効果の詳細	保全対象の状況
1	1	護岸工:流出土砂の堆積により機能不全→これは効果有りか? 流路工:流出土砂の堆積により機能不全→これは効果有りか?	人家1戸(距離 150m), 市道(距離 50m)
1	2	吹付工:施行斜面の崩壊 落石防止工:流出土砂による倒壊	市道(直下)
13	1	落石防止工:崩壊土砂量が多く対応できなかった。→被災例と共に?	
16	1	床固工:上部からの崩壊土砂が多く, 越流した 流路工:大量の土砂が流下した痕跡あり	民家 4 戸(50m, 市道 100m)

表 3.3.3 「治山施設が被災した事例を把握している」と回答された施設の状況

県 No	災害 No	被災施設：被災の詳細	保全対象の状況
1	1	谷止工：土石流の衝撃により破壊又は一部欠損 床固工：土石流の衝撃により一部欠損	人家全壊1戸(下流へ距離 150m), 市道(下流へ距離 50m)
1	2	吹付工：施行斜面の崩壊 落石防止工：流出土砂による倒壊	市道(直下), 一級河川(下流へ100m)
2	1	谷止工：地すべり土塊により倒壊 流路工：崩壊土砂により埋没 土留工：地すべり土塊により倒壊 水路工：地すべり土塊により下方へ流出	二級河川海川 閉塞 (下線の約半分) 被災した施設のうち最下流部にあつた流路工の下端から海川まで, 約350m
2	2	土留工：地すべり土塊により倒壊 水路工：地すべり土塊により下方へ流出	農道 50m 埋塞閉塞 被災した施設のうち最下流部にあつた土留工から農道まで, 約60m
2	3	谷止工：地すべり土塊により倒壊	無し
5	3	谷止工：右岸の洗掘	無し
8	1	土留工：土留工破損 水路工：水路工破損	記載なし
8	2	記載なし	林道 (下流へ距離 20m)
9	1	記載なし	民家全壊 1 件 (下流へ距離 200m)
9	2	記載なし	県道 (下流へ距離 400m)
12	1	谷止工：間詰工の欠損	該当なし
13	1	落石防止工：崩壊土砂量が多く対応できなかった。	下流側 10~20m 公表資料は大分県ホームページを御覧ください。 www.pref.oita.jp/site/yabakei
13	2	谷止工：山腹崩壊による土砂が土石流となり損壊した。 土留工：山腹崩壊により損壊した。	下流へ50m 公表資料は大分県ホームページを御覧ください。 www.pref.oita.jp/site/11612kiban/mukashikari-chisan.html
14	2	水路工：水路工 約 300m 被災 のり枠工：のり枠工 約 2,000m ² 被災	村道 (距離 300m)
17	1	谷止工：規模が大きく点検中 以下同 床固工：〃 護岸工：〃 流路工：〃 土留工：〃 水路工：〃 のり枠工：〃 吹付工：〃	記載なし
18	1	土留工：既設土留工約 200m が損傷し一部崩落した	保全対象の農地までの距離約 30 m, 約 7,000 m ³ の土砂が流出した

4. 気候変動に伴う山地災害の現状と課題

4.1 気象観測システム及び気象予報システムの現状

4.1.1 気象観測システム

現在の気象観測システムは気象レーダ、気象衛星ひまわり、アメダスの情報を連携することにより行われている。

以下では、災害をもたらす主な気象現象として、積乱雲、集中豪雨、台風についての観測・予測システムの現状について整理する。

(1) 積乱雲

積乱雲は、強い上昇気流によって鉛直方向に発達した雲で、大気の状態が不安定な気象条件で発生しやすくなり、水平方向の拡がりが数 10km、時間スケールは 30 分～1 時間程度である。発達とともに局地的な大雨とともに、雷、ひょう、竜巻等の突風をもたらす。

観測は、気象レーダ、気象衛星ひまわり、アメダスで行われ、数値予測モデルやナウキャストで予測が行われている。

現状の観測システムでは、積乱雲については常時観測が可能であるが、積乱雲によってもたらされることがある竜巻はスケールが小さいため現在の気象レーダ解像度では監視が困難となっている。また、府県程度の拡がりのどこかで竜巻等をもたらす積乱雲が発達しやすい状況となることは、数日前から予測可能であるが、市町村程度の単位で発生場所や発生時刻を特定することは困難である。

(2) 集中豪雨

集中豪雨は、積乱雲が同じ場所で次々と発生・発達を繰り返すことによって発生し、代表的な時間スケールは、3 時間～半日程度で、狭い範囲に数時間にわたり強く降り、100mm から数 100mm の雨量をもたらす。

観測は、気象レーダ、気象衛星ひまわり、ウインドプロファイラー、アメダスで行われ、数値予測モデルやナウキャストで予測が行われている。

現状の観測システムでは、府県程度の拡がりのどこかで集中豪雨が発生しやすい状況となることは、数日前から予測可能で、低気圧や前線、地形に伴って発生するある程度規模の大きい線状降水帯の発生・停滞は 1 日前くらいから予測できる場合もある。しかし、市町村程度の単位で発生場所、時刻を特定することは困難である。また、線状降水帯の形成・停滞をはじめとする集中豪雨をもたらす現象のメカニズムの理解が不十分であり、数理予測技術にも改善の余地がある。

(3) 台風

台風は、北西太平洋に存在する熱帯低気圧のうち、低気圧域内の最大風速がおよそ 17m/s 以上のが該当し、代表的な時間スケールは 1 週間程度である。

観測は、気象レーダ、高層気象観測（ラジオゾンデ）、気象衛星ひまわりで行われ、数値予測モデルで予測が行われている。

現状の観測システムは、以前から進路予測は 5 日先まで行うことができたが、強度予報（中心気圧、最大風速等）についても R02/9/9 から 5 日先まで予測可能となった。台風接近に伴う広域避難を支援するためには、4 日目以降の強度や、数日先までの台風及びその周辺域での広域な降水量の予測が

求められておりそれに対応可能となった。

図 4.1.1 に示すように、気象現象は、煙草の煙の揺らぎに見られるようなミクロな乱流から、ブロッキング高気圧といわれるマクロな現象まで非常に広範な空間スケールにわたっている。天気予報に関する気象擾乱は、水平規模およそ 10km で 2~3 時間持続する積乱雲（雷雲）、中規模（メソ）現象といわれる大雨をもたらす積乱雲の集団、台風、中緯度の高・低気圧、ブロッキング高気圧などである。これらの現象は独立して存在するものではなく、低気圧に伴う前線に沿ってさらにスケールの小さい雷雲の列が見られるように、相互に影響しあって実際の気象現象として現れる。

（気象庁、2019c）

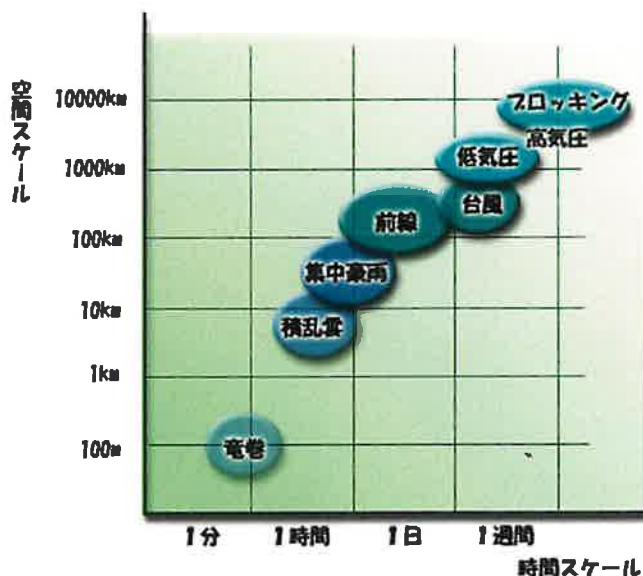


図 4.1.1 気象現象ごとの時間スケール（気象庁、2019c）

＜引用文献＞

気象庁 HP (2019a) : 地域気象観測システム（アメダス）

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/amedas/kaisetsu.html>

気象庁 HP (2019b) : 気象観測の現状と課題 <http://www.mlit.go.jp/common/001083029.pdf>

気象庁 HP (2019c) : さまざまな気象現象 <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/whitep/1-1-2.html>

4.1.2 XRAIN (国土交通省)

XRAIN は、国土交通省が運用する、高性能気象レーダを用いたリアルタイム雨量観測システムであり、以下のような特徴をもつ。

- ・ 高精度・高分解能 (250m メッシュ) で、ほぼリアルタイム (配信間隔 1 分) のレーダ雨量情報。
- ・ 「C バンドレーダ雨量計」「X バンド MP (マルチパラメータ) レーダ雨量計」の 2 種類の雨量計で観測している。
- ・ C バンドレーダ雨量計は、遠方まで観測が可能。
- ・ X バンド MP レーダ雨量計は、高精度な降雨強度を観測や高い空間分解能の観測が可能。

なお、当初は「X バンド MP レーダ雨量情報」や「X バンド MP レーダネットワーク」と呼ばれていたが、2012 年 7 月より「XRAIN」(X-band polarimetric (multi parameter) RAdar Information

Network) と呼ばれるようになった。しかし 2016 年 7 月 1 日より、従来の雨量観測に用いていた C バンドレーダがマルチパラメータ化されて X バンド MP レーダの観測ネットワークと組み合わされることになったことから、「XRAIN」が現在の「eXtended RAdar Information Network」に変更された経緯がある。

携帯アプリでも「アメダス～XRAIN (X バンド MP レーダ) ～」「SimpleXRAIN」が配信されており、リアルタイムの雨雲レーダ画像や各地の天候や気温から、増加する集中豪雨や局所的な大雨(ゲリラ豪雨)を把握でき、水害や土砂災害等から身を守る 1 つの指標となる。

4. 1.3 都道府県の河川情報システム

国土交通省の「川の防災情報」のホームページや東京都の川の防災情報などが公開されている。都道府県、市町村単位で表示や検索ができる、都道府県に絞ると、観測所の雨量や河川の水位等のデータが一覧表で表示される。都道府県によって掲載されている情報は様々だが、主に都道府県が管理している河川の雨量、水位観測、河川の映像・画像の情報等が掲載されている。都道府県ごとに管理されている観測所のため、アメダスより詳細な地域の雨量や河川の水位等を確認できる。

<引用文献>

国土交通省 (2019) : 国土交通省の川の防災情報

<http://www.river.go.jp/kawabou/ipTopGaikyo.do?init=init&gamenId=01-0101&fldCtlParty=no>

東京都建設局河川部 (2019) : 東京都水防災総合情報システム

<http://www.kasen-suibo.metro.tokyo.jp/im/uryosuui/tsim0102g.html>

新潟県 (2019) : 新潟県河川情報システム <http://doboku-bousai.pref.niigata.jp/kasen/>

京都府京 (2019) : 都府河川防災情報 <http://chisuibousai.pref.kyoto.jp/>

4. 1.4 近年の台風の発生状況

表 4. 1.1 に過去 4 年間の台風履歴と主な災害、表 4. 1.2 に各年度の台風による主な災害を示す。H30 年は、特に台風上陸・接近件数が多かった。

表 4. 1.1 過去 4 年間の台風履歴と主な災害（気象庁データより集計、2019）

年度	台風 発生件数	台風 上陸件数	台風 接近数	主な台風	台風期間	災害をもたらし た気象
平成 30 年 (2018)	29	5	16	台風第 7 号 台風第 21 号 台風第 24 号	6.28～7.8 9.3～9.5 9.28～10.1	平成 30 年 7 月豪 雨 (台風 7 号)
平成 29 年 (2017)	27	4	8	台風第 3 号 台風第 18 号 台風第 21 号	6.30～7.10 9.13～9.18 10.21～ 10.23	平成 29 年 7 月 九州北部豪雨 (台風 3 号)
平成 28 年 (2016)	26	6	11	台風第 7, 11, 9, 10 号	8.16～8.31	-
平成 27 年 (2015)	27	4	14	台風第 9, 11, 12 号 台風第 18 号	6.2～7.26 9.7～9.11	平成 27 年 9 月 関東・東北豪雨

表 4. 1.2 各年度の主な台風の概要（気象庁データより集計、2019）

平成 30 年 主な台風	台風概要	最大風速 (m/s)	期間月日
台風第 7 号	6/29 に台風発生。 東シナ海を北上、対馬海峡付近で進路を北東に変える。 7/4 に日本海で温帯低気圧に変わる。	29.8 (長崎県)	7/3
台風第 21 号	8/28 に台風発生。 9/4 に徳島県に上陸→兵庫県→近畿地方→日本海を北上。 9/5 に間宮海峡で温帯低気圧に変わる。	48.2 (高知県)	9/4
台風第 24 号	9/21 に台風発生。 9/28~30 に沖縄に接近→9/30 に和歌山県上陸。東日本→北日本を縦断, 10/1 に日本の東で温帯低気圧に変わる。	56.6 (鹿児島県)	9/29
平成 29 年 主な台風	台風概要	風速 (m/s)	期間月日
台風第 3 号	7/2 に台風発生。 7/4 に長崎市に上陸→東に進む。 7/5 に日本の東で温帯低気圧に変わる。	38.4 (高知県)	7/4
台風第 18 号	9/9 に台風発生。 9/13 に宮古島付近を北上→9/17 に鹿児島県に上陸→ 日本列島に沿って北上。高知→兵庫→北海道に再上陸。 9/18 にサハリンで温帯低気圧に変わる。	39.1 (高知県)	9/17
台風第 21 号	10/16 に台風発生。 10/23 に静岡県に上陸→北東に進む。 10/23 に北海道の東で温帯低気圧に変わる。	35.5 (東京都 三宅村)	10/23
平成 28 年 主な台風	台風概要	風速 (m/s)	期間月日
台風第 7, 11, 9, 10 号	8/14 に台風 7 号発生。 8/19 に台風 9 号発生。 8/19 に台風 10 号発生。 8/20 に台風 11 号発生。 8/17, 21, 23 に 7 号, 11 号, 9 号が北海道に上陸。 8/30 に岩手に上陸→東北地方通過し日本海に抜けた。	31.8 (北海道)	8/17
平成 27 年 主な台風	台風概要	風速 (m/s)	期間月日
台風第 9, 11, 12 号	6/30 に 9 号発生。6/13 に温帯低気圧に変わる。 7/4 に 11 号発生。 7/16 に高知に上陸→岡山に上陸。 7/17 に日本海で熱帯低気圧に変わる。 7/20 に 12 号発生。 7/26 に長崎に上陸。対馬海峡で熱帯低気圧に変わる。	33.9 (高知県)	6/2~7/26
台風第 18 号	9/7 に台風発生。 9/9 に愛知に上陸→日本海に進み、温帯低気圧に変わる。	22.8 (北海道)	9/9

(気象庁の災害時気象報告、災害をもたらした気象事例)

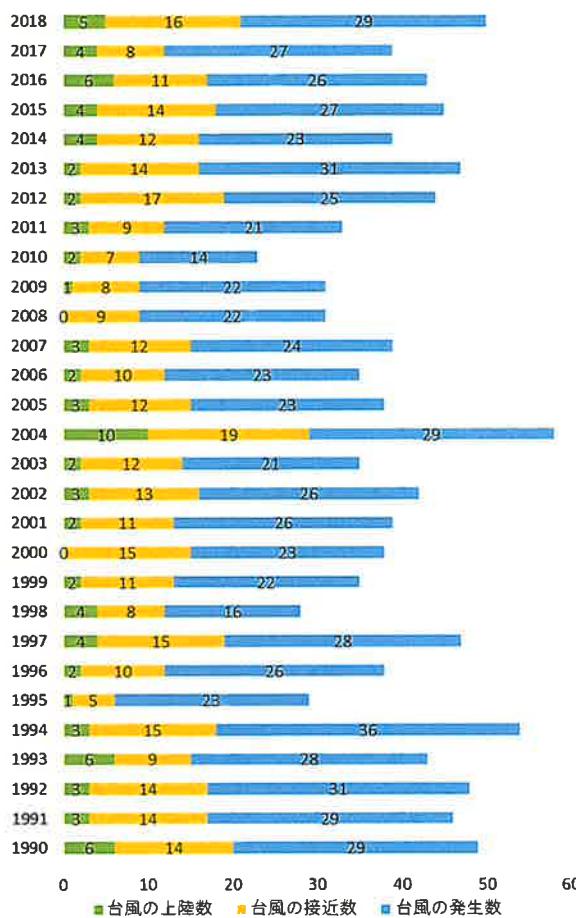


図 4.1.2 年度別でみた台風の上陸、接近、発生件数（気象庁データより集計、2019）

4.1.5 近年の豪雨の発生状況

■ 集中豪雨と局地的大雨について

気象庁より、豪雨の用語の説明を表 4.1.3 に示す。

表 4.1.3 豪雨の用語の説明

豪雨	著しい災害が発生した顕著な大雨現象。
	「〇〇豪雨に匹敵する大雨」等著しい災害が発生し命名された大雨災害の名称か、もしくは地域的に定着している災害の通称（例：東海豪雨）の名称を引用する形で用いる。一般に発表する予報や書報、気象情報等では、「豪雨」単独では用いない。
	a) 著しい災害とは、激甚災害、命名された大雨災害。 b) 既に命名された現象もしくはそれに匹敵する過去事象に対する使用に限定する。 c) 命名の目安は「浸水家屋10000棟」等。

表 4.1.3 の説明によると、豪雨そのものの現象ではなく、災害が発生し命名された場合に「豪雨」と使う傾向である。現象としてあるものは、「集中豪雨」や「局地的大雨」である。表 4.1.4 に用語の説明を示す。

表 4.1.4 「集中豪雨」, 「局地的大雨」の説明

一 集中豪雨		同じような場所で数時間にわたり強く降り、100mmから数百mmの雨量をもたらす雨。
	備考	積乱雲が同じ場所で次々と発生・発達を繰り返すことにより起き、重大な土砂災害や家屋浸水等の災害を引き起こす。
局地的大雨		急に強く降り、数十分の短時間に狭い範囲に数十mm程度の雨量をもたらす雨。「局地的な大雨」とも言う。
	備考	単独の積乱雲が発達することによって起き、大雨や洪水の注意報・警報が発表される気象状態でなくても、急な強い雨のため河川や水路等が短時間に増水する等、急激な状況変化により重大な事故を引き起こすことがある。

図 4.1.3 に局地的大雨と集中豪雨の違いを示す。局地的大雨では、それが一過性であり、集中豪雨はそれを繰り返すという違いある。

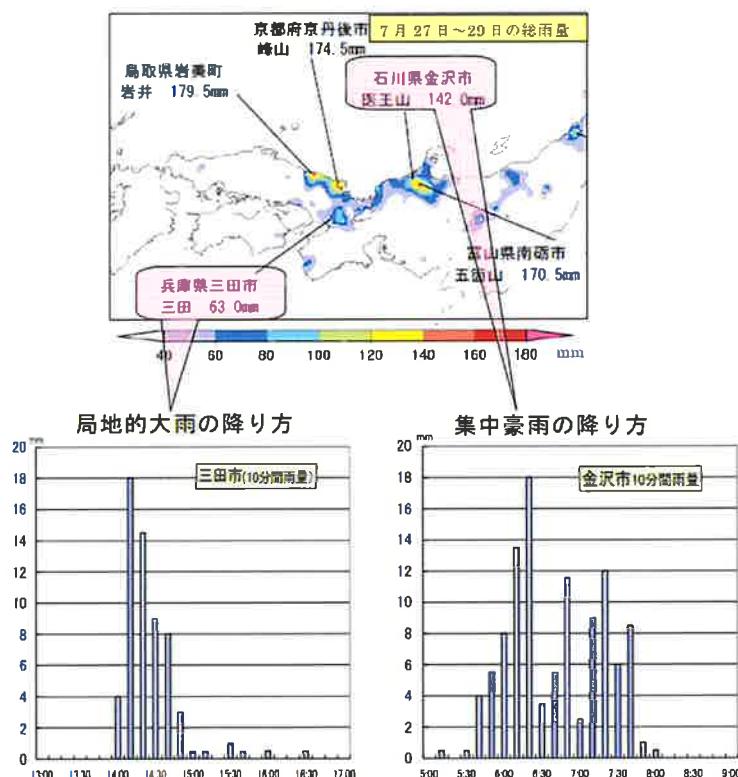


図 4.1.3 局地的大雨と集中豪雨の違いの例

集中豪雨（2008年7月28日金沢市医王山）の例では、10分間あたり10mm以上の雨（そのまま1時間降り続くと60mm以上となる非常に激しい雨）が、強弱を繰り返しながら3~4時間降り続き、総雨量は142mmとなった。

局地的大雨（2008年7月28日三田市）の例では、10分間あたり10mm前後の雨が1時間にまとまって降り、総雨量は63mmになった。

<引用文献>

気象庁（2019）：天気予報等で用いる用語（降水）

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/yougo_hp/kousui.html

気象庁（2009）：局地的大雨から身を守るために

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/ooametebiki_main.pdf

4. 1. 6 近年の線状降水帯の発生状況

図 4. 1.3 に各年度の主な災害の被害地域の総降水量を示す。線状降水帯の停滞期間の傾向として、梅雨期や台風期に多い。

表 4. 1.5 過去 4 年間の線状降水帯履歴と主な災害

年度	線状降水帯 停滞期間	災害をもたらした気象	被害地域
平成 30 年 (2018)	H30.6.28～H30.7.8	H30 年 7 月豪雨	広島、岡山、愛媛
平成 29 年 (2017)	H29.6.30～H29.7.4	H29 年 7 月九州北部豪雨	福岡、大分
平成 28 年 (2016)	-	-	-
平成 27 年 (2015)	H27.9.9～H27.9.11	H27 年 9 月関東・東北豪雨	栃木、茨城、宮城

表 4. 1.6 各年度の災害をもたらした気象の被害地域の総降水量

H30 年 7 月豪雨		
観測所	総降水量 (mm)	期間月日
広島市	570.5	7/5～7/8
岡山県	565.5	7/5～7/8
愛媛県	571.0	7/5～7/8
H29 年 7 月九州北部豪雨		
観測所	総降水量 (mm)	期間月日
福岡県朝倉市朝倉	586.0	7/5～7/6
大分県日田市日田	402.5	7/5～7/6
H27 年 9 月関東・東北豪雨		
観測所	総降水量 (mm)	期間月日
栃木県日光市今市	647.5	9/7～9/11
宮城県丸森町筆甫	536.0	9/7～9/11

線状降水帯の判定方法 および条件

- ① 3時間積算降水量(解析雨量)が 80mm以上の分布域が線状 (長軸対短軸の比が2.0以上)
- ② その面積が500km²以上
- ③ ①の領域内の3時間積算降水量の最大値が100mm以上
- ④ 時間的連続性が高いと判断した場合には同一の事例と判断
→ 客観的基準を導入

- ① 発現から消失まで 2 時間以上であること。
- ② ピーク時刻における降雨強度が最低 20mm/h であること。
- ③ 線状の形 (長さ・幅は不定) を示すこと。
- ④ 一地域に留まる、もしくはゆっくり移動する降水帯であること。

(a) 気象庁(2018)

(b) 佐々木ほか(2011)

図 4. 1.4 線状降水帯の定義の違い

平成 30 年 7 月に発生した西日本豪雨での線状降水帯の発生状況を図 4. 1.5 に示す。

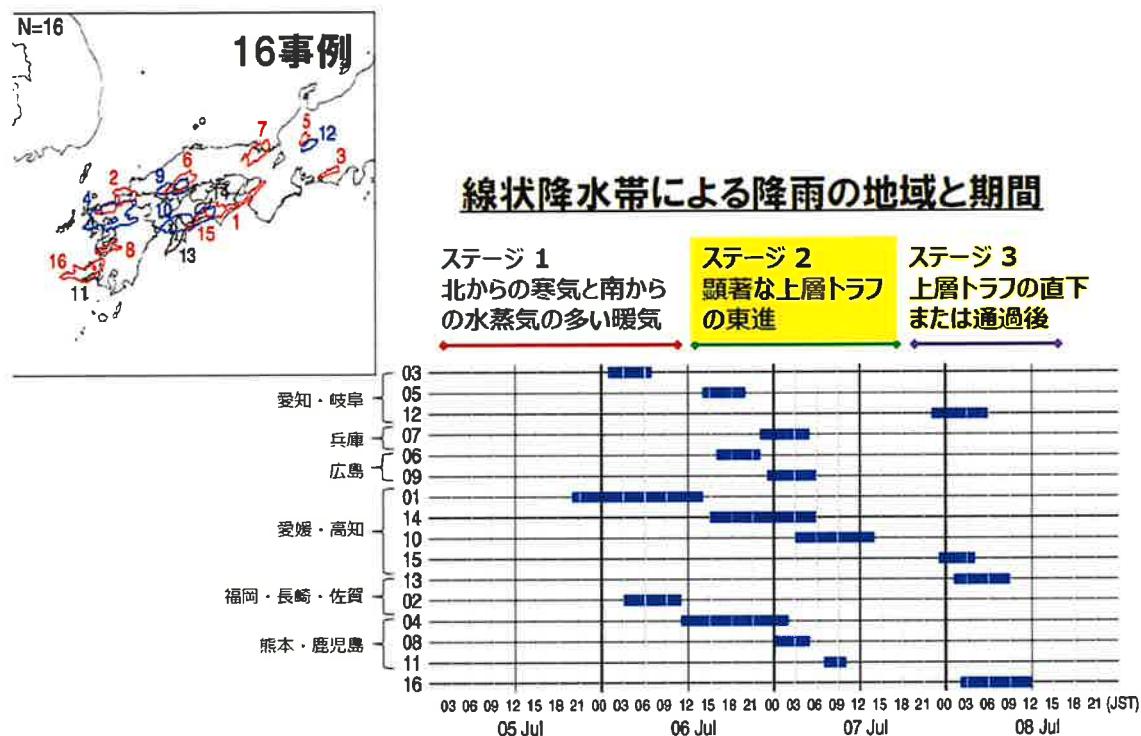


図 4. 1.5 平成 30 年 7 月豪雨での線状降水帯の発生状況（気象庁, 2018）

図 4. 1.6 は北海道における近年の線状降水帯の発生状況である（佐々木ほか, 2011）。傾向としては線状降水帯の発生回数が増加しているように見える。図 3.5.4 は線状降水帯の各種統計的性質の経年変化である。

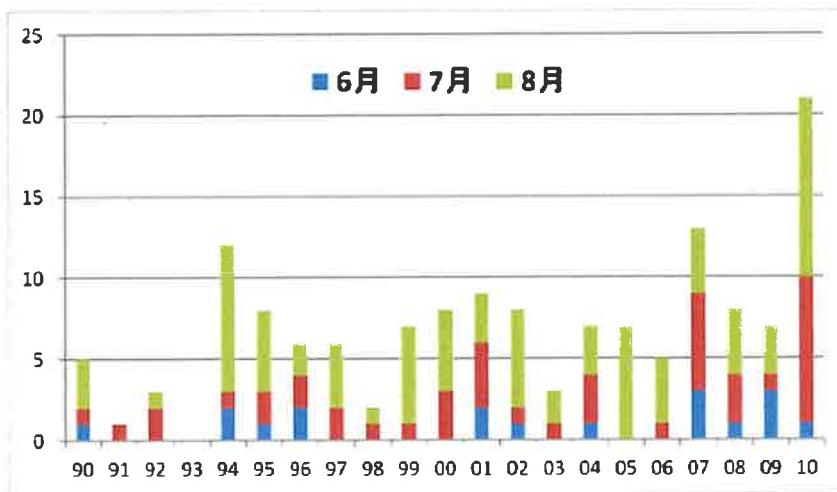


図 4. 1.6 北海道における各年の月別で見た線状降水帯発生積算回数（佐々木他, 2011）

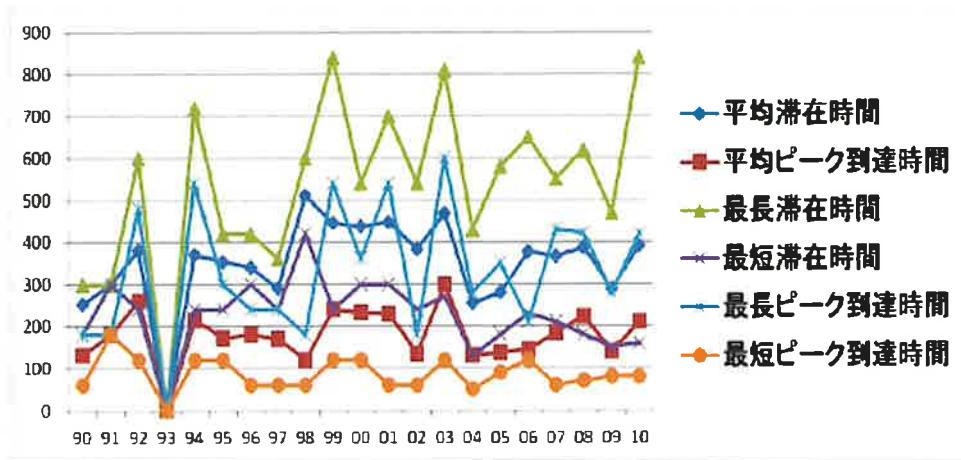


図 4.1.7 北海道における線状降水帯の各種統計的性質（佐々木他, 2011）

図 4.1.8 は北海道の各地域における線状降水帯の発生状況である。線状降水帯が多く発生する地域には偏りがある。例えば同じ東部でも北見地区は 10 回と比較的多く発生しており、その南側の帶広地区は 1 回と少ない。

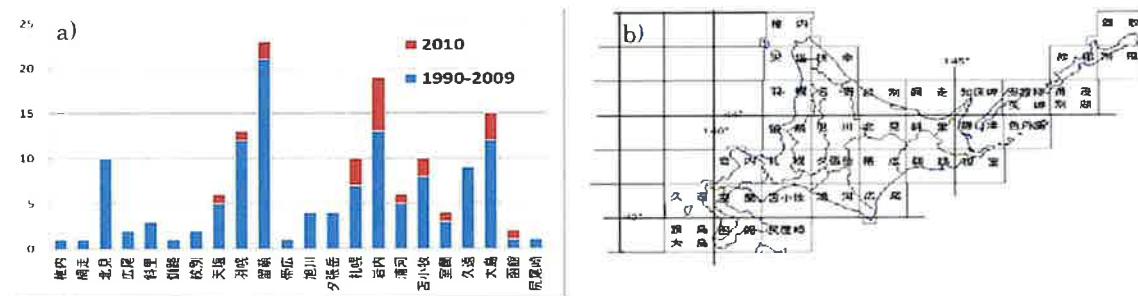


図 4.1.8 北海道各地での線状降水帯の発生回数（佐々木他, 2011）

<引用文献>

- 気象庁 (2018) : 平成 30 年 7 月豪雨の局地的な特徴, 気象庁気象研究所研究成果発表会
 佐々木潤・山田朋人 (2011) 「北海道における近年の線状降水帯の統計的性質」, 第 24 回水文・水資源学会研究発表会

4.2 治山分野における降雨解析（辻本 浩史）

4.2.1 治山分野における降雨解析の重要性

治山施設が展開されている山地流域を対象とした調査・研究を進める場合、気象、特に雨についての知識は必要不可欠なものである。例えば土砂生産の素過程を解明するためには山地斜面での降水量のデータが必須であるし、生産された土砂や倒木が流下・堆積する過程を追跡するためには河川流域の雨量分布を正確に把握して水文・水理解析につなげる事が必要となる。また、一定の規模を上回る大雨は斜面崩壊・土石流・地滑りといった大規模な土砂移動現象の直接的な誘因となるため、雨量データは斜面安定解析の入力条件となる。気象現象は気候変動の影響を受けて激甚化が指摘されており、局所的な集中豪雨による甚大な土砂災害が相次いで発生している。治山施設に関わる者は、降雨現象に対する最新の観測技術とそこから得られるデータを正しく理解した上で研究や実務に活用していく事が重要となる。降雨解析の基となる雨量データについては従来の地上雨量に加えて近年では時間・空間解像度に優れたレーダ雨量を用いて解析するケースが増えてきており、本節では特にレーダ雨量の種類とそれらの解析事例について概略を述べることとする。

4.2.2 雨の観測

(1) 地上雨量計による観測

図 4.2.1 は一般的な雨量計の外観とカバーを外した内部である。地上雨量計による観測原理は極めてシンプルで、直径 20cm の受水器に入った降水を、濾水器を通して転倒ますに流し込み一定量（通常は 0.5mm 相当）の雨水がたまつた際に転倒する回数を計測する仕組みである。地上雨量計は比較的手軽に設置可能で何よりも設置場所に降る雨を観測するために国や自治体、民間（鉄道・道路）、大学や研究機関等が数多く設置している。しかしながら、周囲の人工物や樹木に影響を受けない適切な場所に設置して落ち葉や昆虫等により受水器が目詰まりしないように定期的な保守を行うことが重要である。

特に治山施設が設定される地域は標高の高い山岳地域にまで及ぶことが多く、そこで地上雨量計による観測を行う場合は強風による雨滴の捕捉率が低下する事に留意しておく必要がある。図 4.2.2 は北アルプスの西穂高岳から焼岳周辺に設置された雨量計のデータを整理したものである¹⁾。一般的に標高が高いほど（＝気温が低いほど）雨雲は発生しやすく、また山岳地域では地形効果で雨雲がさらに発達する性質のために雨量は標高が高くなるほど多くなる関係を示す。図 4.2.2 にもそのような傾向が示されているが、最も標高の高い西穂観測点（2350m）では他の地点よりも少なめの雨量となっている。西穂観測点は穂高連峰の稜線付近に位置しており、強風による雨滴捕捉率が低下している事がうかがえる。



図 4.2.1 雨量計の外部と外観

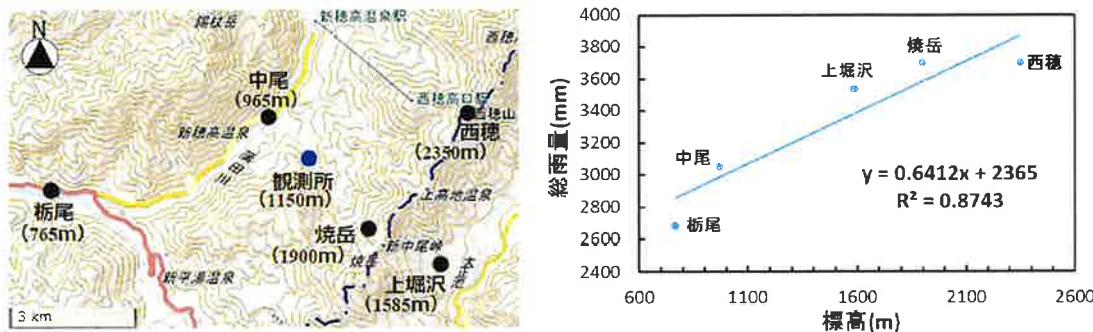


図 4.2.2 山地における標高と総雨量の関係を示す一例

(2) レーダによる観測

地上雨量計が地上に落下した降水粒子を直接的に観測するのに対し、レーダによる観測では発射された電波（マイクロ波）が空中の降水粒子に反射して戻ってきた時の様々な観測情報から半径数十km～数百kmの雨や雪の強さを推定している。レーダによる全国のレーダ監視網が整備されたのは1970年代であるが、当初はレーダから算出された雨量と地上雨量計で観測された雨量に差があるためにレーダによる観測は定性的な利用に限定される時期が長く続いた。しかしながら、近年のハード・ソフト両面からのレーダ観測技術の著しい進歩、例えば水平・垂直の2偏波の観測から得られる様々な観測情報（マルチパラメータレーダ：MP レーダ）を用いた雨量強度の推定方法の確率などによりレーダ観測から導かれる雨量データの品質が格段に高まってきた。治山分野においてもレーダの優れた特徴である高い時間空間分解能を活用した調査・研究が主流となってくると思われる。

現在、国、自治体、民間、大学研究機関がレーダを所有して観測を行っているが、大部分が波長約5cmのCバンドレーダと約3cmのXバンドレーダである。前者は遠方までの観測が可能であり、後者は観測範囲が狭くなるものの詳細な観測ができるに特徴がある。それらの中で複数のレーダを用いて全国の降雨状況を常時リアルタイムで観測を行っている気象庁のCバンド気象レーダと国土交通省水管理・国土保全局、道路局（国土交通省）のCバンドレーダ雨量計の配置箇所を図5.2.2に示す。気象庁20基、国土交通省26基の観測データは合成処理や地上雨量による補正を施された1kmメッシュ雨量として、それぞれ（一財）気象業務支援センターと（一財）河川情報センターから入手可能である。さらに、国土交通省のCバンドレーダ雨量計とCバンドレーダよりもさらに高解像度のXバンドMPレーダを合成した雨量データも作成されており1分更新の250mメッシュ雨量が利用できる（表4.2.1）。

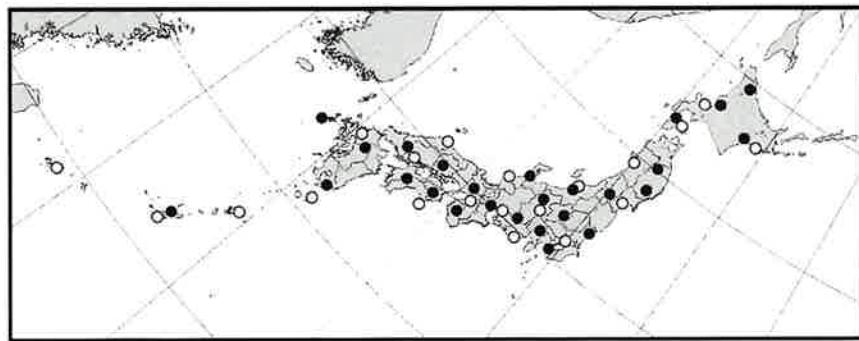


図 4.2.3 気象レーダ（気象庁○）とレーダ雨量計（国土交通省●）の設置個所

表 4.2.1 リアルタイムで入手できる代表的なレーダ雨量データの種別

	更新間隔	格子間隔	単位	特徴・入手先
国土交通省 解析雨量	30分	1km	1時間雨量 (mm)	全国に設置された気象庁(20基)と国土交通省(26基)のレーダ雨量とアメダス(気象庁), 国土交通省および自治体等の地上雨量計を組み合わせて降水量分布を解析したデータ(一財)気象業務支援センター
全国合成 レーダエコー強度	5分	1km	雨量強度 (mm/h)	気象庁が保有する全国20台の気象レーダで観測したエコー強度(レーダで観測される換算降水強度)を全国合成し, アメダスで補正したデータ(一財)気象業務支援センター
Cバンド レーダ雨量データ	5分	1km	雨量強度 (mm/h)	国土交通省が設置している全国を26基でカバーするCバンドレーダで観測した雨量データ。アメダス、国土交通省、自治体の雨量計で補正(一財)河川情報センター
C-X合成レーダ雨量 データ	1分	250m	雨量強度 (mm/h)	XバンドMPレーダ雨量計とCバンドレーダ雨量計を組み合わせ合成した雨量データ(一財)河川情報センター

4.2.3 レーダ雨量による解析

レーダ雨量の最大の特徴は地上雨量計に比べて空間分解能が高い点にある。平成29年台風第10号によって岩手県小本川流域では多数の斜面崩壊や洪水氾濫が発生した。図4.2.4は表4.2.1中の国土交通省解析雨量を用いて描いた岩手県小本川流域及び周辺の雨量分布である。降雨がピークに達した時間帯(16:30~17:30), 図中の○で囲んだ領域では地上雨量計で捕えきれない非常に激しい雨が観測されている。レーダ雨量と分布型の流出モデルを組み合わせることで流域内の水文現象を空間的・時間的に正確に再現する事も可能である。なお、レーダ雨量による解析を行う際には最寄りのレーダ設置個所からの距離や地形等によって地上雨量との適合性に違いがある事も考慮して複数地点で比較検証しておく事が重要である。また、レーダは5分間隔程度の雨量強度(mm/h)が得られるため表層崩壊等の解析を行う際には有利な情報となる。図4.2.5は小本川流域内で特に表層崩壊が多発した大川大沢川付近のメッシュ雨量の時間変化を示している。台風が岩手県大船渡市付近に上陸した30日18時頃に雨量強度80mm/hを超える時間帯が2度にわたって出現している。斜面の安定解析と組み合わせることで崩壊発生時刻の推定精度の向上にも繋がることが期待できる。

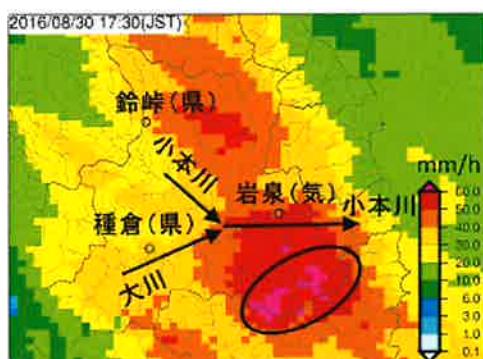


図 4.2.4 国土交通省解析雨量を用いた小本川流域及び周辺の雨量分布

(2016/8/31 16:30~17:30 の 1 時間雨量)

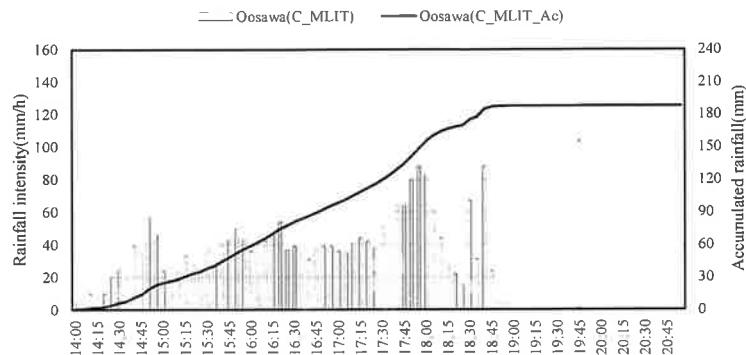


図 4.2.5 C バンドレーダ雨量データによる雨量強度
(崩壊が多発した箇所に該当するメッシュ)

<引用文献>

- 1)繩手他 (2018) : 急峻な山岳地域の気象特性に関する研究～蒲田川上流域～, 平成 29 年度砂防学会研究発表会, 636-637.

4.3 気候変動に伴う気象現象の予測手法の現状と課題

4.3.1 極値解析の課題と改良手法—異常豪雨を考慮した極値解析

図 4.3.1 は岸原・武藏（1981）が示す降雨の経験的再現期間曲線（R.P.曲線）の型分類である。この型分類は気象庁統計課の菊池原（1958）が最初に示したものであるが、この中の F タイプが異常気象のパターンであり、既往第 1 位の雨量が第 2 位の雨量より極端に大きくなるパターンである。第 2 位までの年最大日雨量を用いた極値解析で第 1 位の雨量を評価すると再現期間が数万年以上となることもあることを岸原・武藏（1981）が示している（図 4.3.2）。この事は第 2 位までの統計データを用いた極値解析で第 1 位の異常豪雨を予想することは困難であることを示している。

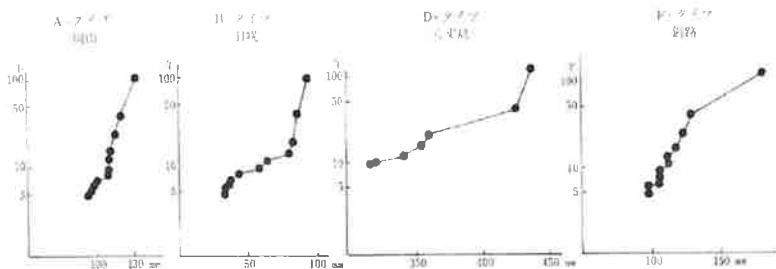


図 4.3.1 経験的再現期間曲線（R.P.曲線）の型の種類（岸原・武藏,1981）

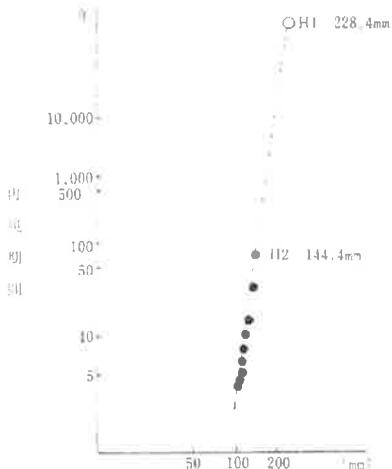


図 4.3.2 F タイプのデータを用いた極値解析の例（岸原・武藏,1981）

鈴木・菊池原（1984）は異常豪雨を定義するための指標として以下の A 値を提案している。

$$A = \frac{x_1 - x_2}{S_x}$$

ここに、 x_1 ：第 1 位の雨量、 x_2 ：第 2 位の雨量、 S_x ：標準偏差

鈴木・菊池原（1984）は $A=1.5$ 以上を異常豪雨と定義し、 $A=2.0$ 以上を特に異常度が大きいとした。

鈴木・菊池原（1984）は、異常豪雨が 1 観測地点で 1 個有るか無いかという現象のため、1 観測地点だけのデータから極値解析をすること自体が問題であるとして、Linsley ほか(1949)が提示した Station Year Method (以下、SY 法と呼ぶ) を用いた手法を提案している。SY 法は、ある地域内の

地点の全データを合併してその地域を代表する 1 組のデータとして扱い、個々の地点の統計年数より大きな R・P・の推算を行う方法である（鈴木・菊池原,1984）。互いに統計的分布の異なるデータを合併したのでは意味がないため、経験的 R・P. 曲線に現れる見かけ上の分布型の差異と、平均値・分散の度合いといったパラメータの差を規準化した。鈴木・菊池原（1984）が用いた基準化の式は以下の式である。

$$y_i = \frac{x_i - M_2}{M_{10} - M_2}$$

ここに、 y_i ：年最大日降水量 x_i の規準化値、 x_i ：年最大日降水量、 M_2 ：再現期間 2 年の日降水量、 M_{10} ：再現期間 10 年の日降水量

この規準化を行うと日本のどの地域でも大きな違いが無いとして日本全体を 1 つの地域とした経験的再現期間曲線（R.P.曲線）を図 4.3.3 のように示している。鈴木・菊池原（1984）はこの方法を持ってしても第 1 位の彦根と第 2 位の苫小牧の異常豪雨は対応不能で、異常値のままであったとしている。

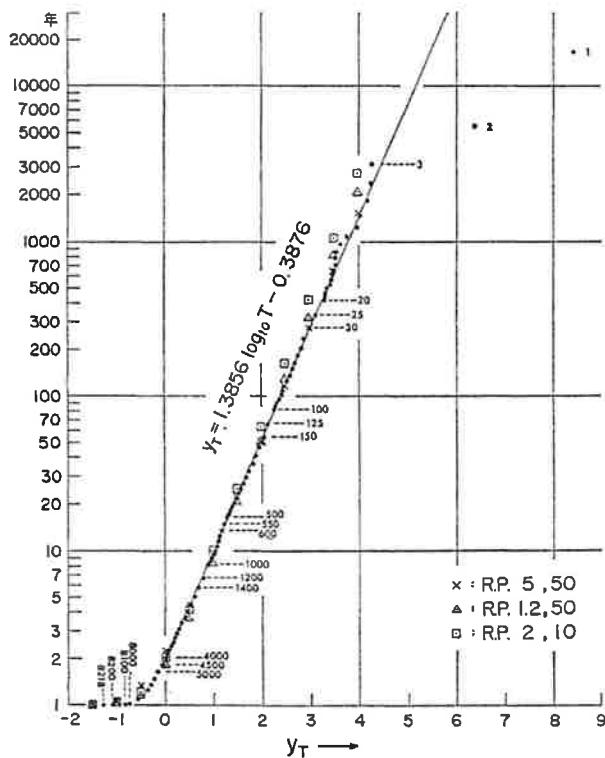


図 4.3.3 SY 法による日本全体の経験的 R.P.曲線(HAZEN)（鈴木・菊池原,1984）

図 4.3.3 によると再現期間 100 年に対する y_T は $y_T \approx 2.38$ となることから、各観測地点での 100 年確率日降水量 M_{100} は次式で算出される。

$$M_{100} = 2.38 \times (M_{10} - M_2) + M_2$$

藤部（2015）は気象庁の異常気象分析検討会平成 26 年度定例会の中で「極値統計における「異常値」の問題」を取り上げているが、極値解析に関連する異常気象の代表例として 1896 年の彦根豪雨の事例を紹介している（図 4.3.4）。滋賀県彦根観測所（統計期間：1893/10～現在）で 1896 年に

観測された日雨量 596.9mm という豪雨は、通常の極値解析である Gumbel 法で算出しても 200 年確率雨量 (209mm) の 2.9 倍となる。しかし、藤部 (2015) は 1896 年当時の気象図の分析からこの豪雨は「南海上に台風、本州上に前線が発達し、近畿地方東部に南北に延びる降雨帯が停滞したと推定される。」「日本の集中豪雨の典型的パターンで、彦根豪雨は、気象学的には不思議な現象ではない。それにも係わらず極値統計手法では表現できない理由は、極値統計手法が気候の定常性を前提」としているためとしている (藤部, 2015)。

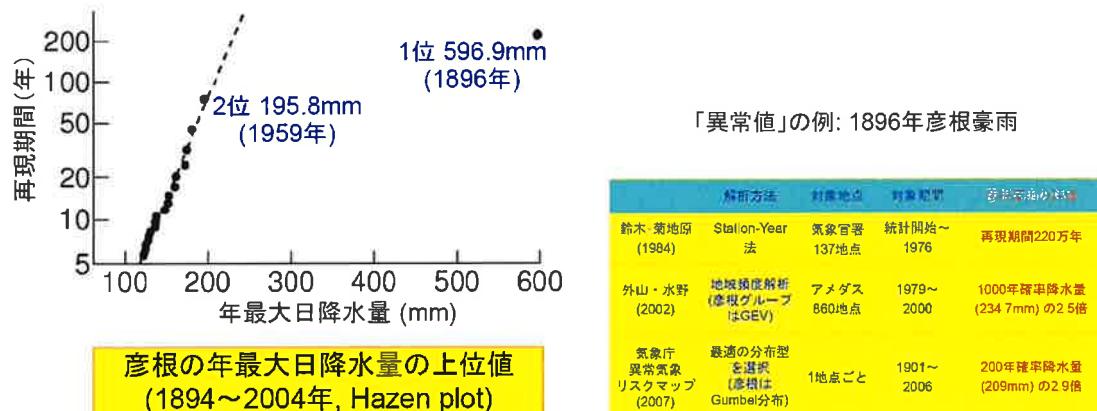


図 4.3.4 極値統計における異常値の例 (藤部, 2015)

一方、葛葉 (2015) は既往最大値の再現期間を考慮した日降水量確率分布の推定方法を提案している。葛葉 (2015) の方法は 12 種類の確率分布関数を用いて観測所毎の最適な関数を評価して既往最大値の再現期間を求めるというものである。12 種類の確率分布関数には kappa 分布 (4 パラメータ), Wakeby 分布 (5 パラメータ) のようにパラメータの多い分布関数も採用している。葛葉 (2015) は適合度を重視する場合はパラメータの多い分布関数が良いと説明している。表 4.3.1 に概ね 100 年以上の統計期間を持つ日本の 51 地点の主要な観測所の最適な確率分布関数と既往最大日降水量の再現期間を示す (葛葉, 2015)。

表 4.3.1 最適な確率分布と既往最大日降水量の再現期間 (葛葉, 2015)

(5) The most optimal distribution.

観測地点	確率分布	SLSC	再現期間	観測地点	確率分布	SLSC	再現期間	観測地点	確率分布	SLSC	再現期間
旭川	L-WAK	0.016	112	前橋	L-GNO	0.017	458	呉	L-GEV	0.017	180
網走	L-WAK	0.014	435	熊谷	L-WAK	0.017	102	神戸	L-GNO	0.015	212
札幌	GNO	0.018	279	水戸	L-WAK	0.013	195	大阪	L-LEV	0.016	303
帯広	WAK	0.010	180	敦賀	L-WAK	0.017	276	和歌山	L-GNO	0.011	225
根室	L-KAP	0.016	586	岐阜	L-KAP	0.017	108	福岡	L-KAP	0.010	191
寿都	L-GNO	0.017	218	名古屋	L-LEV	0.025	268	大分	KAP	0.014	202
秋田	L-GNO	0.010	171	飯田	L-WAK	0.016	289	長崎	L-WAK	0.012	147
宮古	PE3	0.018	204	甲府	L-WAK	0.017	76	熊本	L-WAK	0.012	408
山形	L-GNO	0.021	175	津	L-KAP	0.013	328	鹿児島	WAK	0.015	282
石巻	L-GAM	0.018	537	浜松	L-WAK	0.015	123	宮崎	L-WAK	0.014	196
福島	L-WAK	0.016	46	東京	L-PE3	0.017	477	松山	L-WAK	0.009	140
伏木	L-WAK	0.012	79	横浜	L-WAK	0.013	122	多度津	L-WAK	0.015	85
長野	L-WAK	0.012	139	境	L-KAP	0.014	398	高知	L-LEV	0.017	178
宇都宮	WAK	0.013	123	浜田	L-WAK	0.015	135	徳島	L-GLO	0.015	144
福井	L-WAK	0.014	92	京都	L-GLO	0.018	156	名瀬	L-KAP	0.013	116
高山	L-WAK	0.015	109	彦根	L-LEV	0.033	410	石垣島	GNO	0.015	269
松本	GPA	0.023	94	下関	L-LEV	0.016	264	那覇	L-GLO	0.019	137

表 4.3.1 を見ると日本主要な観測所の既往最大日降水量の再現期間は最大で 586 年（根室）となり、最小で 46 年（福島）となっている。

なお、葛葉（2015）は、彦根の 1896 年の 596.9mm/d の豪雨については、上限値を超えた観測値として解析対象から除外している。

葛葉（2015）の方法を治山施設の計画に活用する場合は以下のような問題が発生する。

- ①各観測所の最適な確率分布関数は普遍なのか。例えば、R.P. 曲線が A タイプの観測所で F タイプに変化するような異常豪雨が観測された場合は、その観測所での最適な確率分布関数の種類が変化するのか。
- ②R.P. 曲線が A タイプの観測所で適用した最適な確率分布関数で、その観測所の型が F タイプに変化するような将来の異常豪雨が予測できるのか。
- ③この方法はあくまでも 1箇所の観測地点の既往の観測データを用いた解析であり、母集団の中の標本の 1つであることから、標本の統計的変動性の影響を受ける。将来的に過去のデータの標本と異なる異常値が発生しても、その異常値も母集団の中の標本の 1つに過ぎないと解釈できるが、その異常値の予測はこの方法ではできない。

<引用文献>

Linsley,R.K., Kohler, M.A., and Paulhus,J.L., H.(1949):Applied hydrology, Civil Engineering Series, New York, McGraw-Hill.

気象庁統計課（菊池原英和）（1958）：日降水量の再現期間の推定法に関する調査，測候時報，25,pp.181-186.

鈴木昭夫・菊池原英和（1984）：異常豪雨を考慮した日降水量再現期間の推算法，天気,31, pp.29-39.

葛葉泰久(2015)：既往最大値の再現期間を考慮した日降水量確率分布の推定，水文・水資源学会誌，Vol.28, No.2,pp.59-71.

藤部文昭（2015）：日本における大雨の長期変動，気象庁異常気象分析検討会（平成 26 年度定例会）資料 2－1

岸原信義（1978a）：豪雨に関する研究（I）年最大日雨量の再現期間の推定方法について，日本林学会誌，Vol.60, No.8, pp.298-307.

岸原信義（1978b）：豪雨に関する研究（II）年最大 1 時間雨量の再現期間の推定方法について，日本林学会誌，Vol.60, No.9, pp.340-344.

岸原信義・武藏哲夫（1981）：異常豪雨は予測できるか（I），水利科学，Vol.25, No.4, pp.1-17.

4.3.2 極値解析の課題と改良手法—気候変動（ランダム性の経年変化）を考慮した極値解析の例

寒川ほか（2008）は熱力学におけるエントロピーでは無く、情報理論におけるエントロピーに着目し、気候変動に伴う確率水文量の変化をエントロピーの変化に置き換えて解析する手法を提案している。図4.3.5は長野県の観測所の年最大日降水量の経年変化で、図4.3.6はそれに対するエントロピーの変化である。エントロピーは増加傾向にあるがこれが気候変動に関連しているとしている。

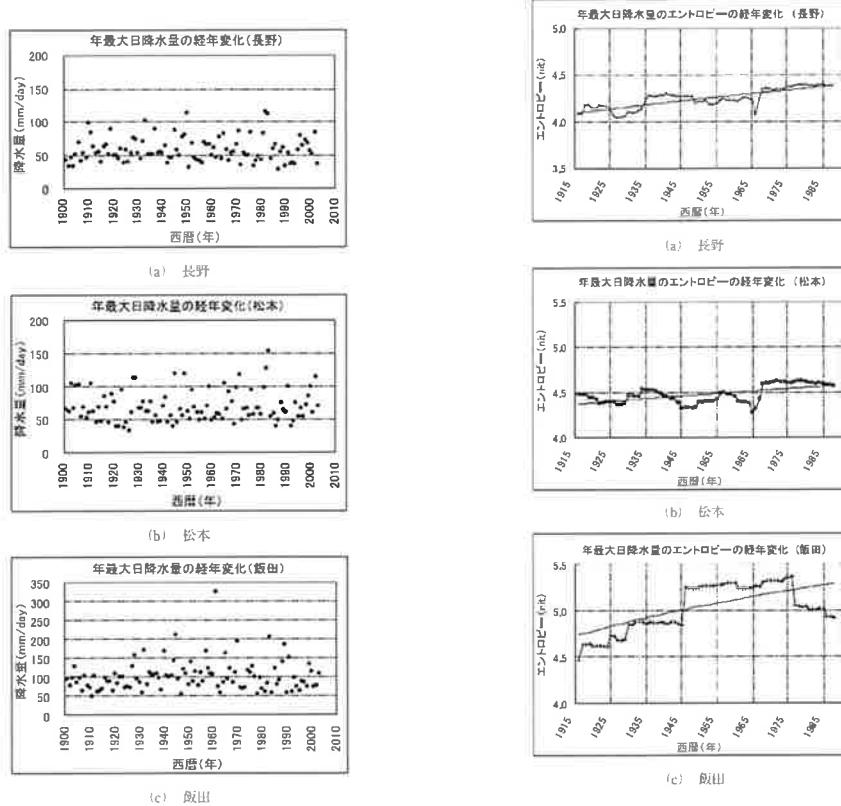


図4.3.5 年最大日降水量の経年変化（寒川ほか,2008）

図4.3.6 年最大日降水量のエントロピーの経年変化（寒川ほか,2008）

寒川ほか（2008）はエントリビーHを用いたT年確率日降水量 X_T の算出式を以下の式で示している。

$$X_T = b - \frac{\ln\{\ln[T/(T-1)]\}}{\exp(1+\gamma-H)}$$

ここに、 X_T : T年確率日降水量 (mm/d), T : 再現期間 (年), b : グンベル分布の位置母数, H : エントロピー (nit), γ : オイラー一定数 (0.57721)

結果として、図4.3.5の長野と松本と飯田の100年確率水文量は図4.3.7のように経時変化すると予想している。

寒川ほか（2008）の考え方は1つの観測所の既存の観測データの経年変化を元に将来の100年確率降水量の変化を予測したものであるが、前項で取り上げた異常豪雨の存在については全く考慮されていない。よって、今後各地で発生すると考えられる異常豪雨には対応できないことになる。寒川ほか（2008）の提案する方法はあくまでも1箇所の観測地点の観測データを用いた解析であ

り、統計的解析の限界がある。通常、統計的な信頼区間を得るためにには数百個や数千個のデータサンプルが必要である。100個程度のサンプル数は、統計的にみれば母集団の中の一つの極めて小さなサンプル数の小標本であり、標本の統計的変動性の影響を大きく受ける。

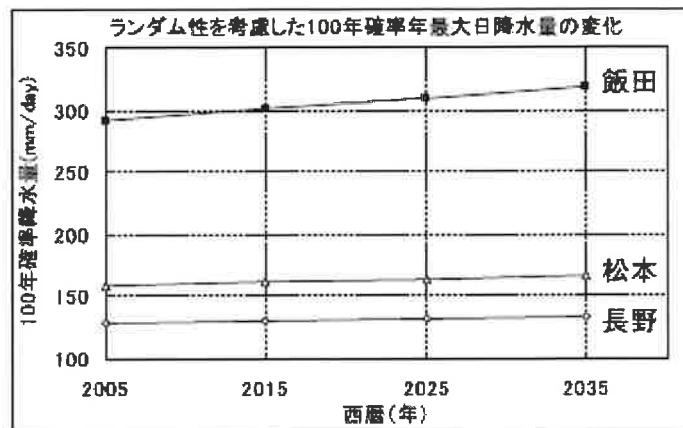


図 4.3.7 ランダム性の経年変化を考慮した確率降水量の変化（寒川ほか,2008）

<引用文献>

寒川典昭・草刈智一・根津隆大・山崎基弘（2008）：ランダム性の経年変化を考慮した確率降水量の非定常頻度解析. 自然灾害科学 26 : 379-389.

4.3.3 極値解析の課題と改良手法—ノンパラメトリック手法による極値データ解析

寶馨（2006）は100年以上の統計データを有する観測地点の極値データ解析では従来のパラメトリック手法（確率分布関数による方法）に代わって、確率分布関数を用いないノンパラメトリック手法の適用を提案している。

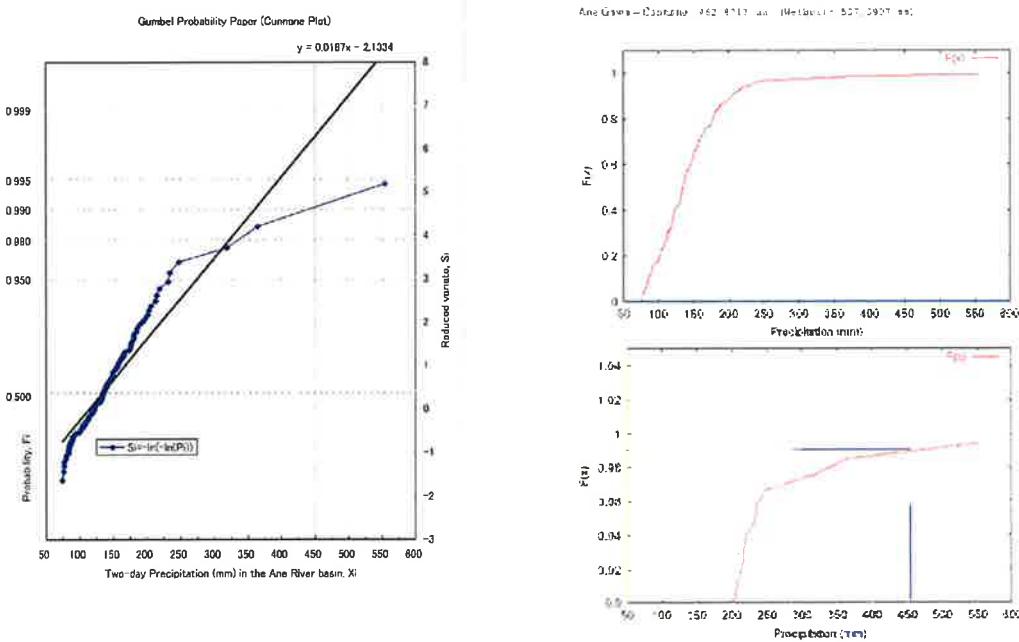


図 4.3.8 大標本データの経験的 R.P. 曲線（寶馨, 2006）

寶馨（2006）の主張は単純で、100個以上の大標本では確率分布関数に当てはめるのではなく、経験的再現期間曲線（R.P.曲線）そのものを用いて、再現期間に応じたR.P.曲線上の降水量を求めるというものである。例えば100年確率（非超過確率0.990）に対応した降水量は縦軸が0.990の時のR.P.曲線上の降水量を読み取るだけである。図4.3.8は寶馨（2006）が示すR.P.曲線の事例であるが、左の極値確率紙ではなく右の普通紙にプロットしたR.P.曲線で十分だとしている。バイアス補正のための処理は行っているが、プロティング公式に何を使うかの影響が大きく、それによって確率水文量が異なる。寶馨（2006）はプロッティング公式としてカナン（Cunnane）公式とワイブル（Weibull）公式を比較している。

寶馨（2006）は菊地原（1984）や岸原・武藏（1981）が問題としているようなケース、既往観測値におけるR.P.曲線がAタイプの場合に、Fタイプに変化する場合の水文量の予測には利用できない。また、寶馨（2006）は30年末満のデータセットを小標本、30年以上を中標本、100年以上を大標本としている。しかし、統計学的には95%の信頼区間を得るためにには550個以上のサンプル数が必要であり、サンプル数100個は十分な数とは言えない。100個のデータセットであっても母集団の中の標本の1つであり、標本の統計的変動性の影響を受ける。将来的に過去のデータの標本と異なる異常値が発生しても、その異常値も母集団の中の標本の1つに過ぎないと解釈できるが、寶馨（2006）の提案する方法はあくまでも1箇所の観測地点の観測データを用いた解析であり、統計的解析の限界がある。

＜引用文献＞

寶馨（2006）：大標本時代の水文頻度解析手法－リターンピリオドを超えるようなサイズの標本に対する極値データ解析－．京都大学防災研究所年報、49（B）：7-12. 2006.

4.3.4 夏期降水量や年間降水量を用いた最大降水量（1day,1hour）の予測手法

菅原（1979）は確率分布の考えに基づく極値解析について、乱数を使った数値実験の結果を示し、100年確率の水文量を確率的手法で算出することの難しさを説明している。岸原(1978a)は、従来の極値解析手法による100年確率雨量などの超過確率雨量の信頼性は低いとして、片対数方眼紙を用いた経験的再現期間曲線（R.P.曲線）の型から日本の雨量観測地点毎のR.P.曲線の型分類を行った上で、日本を太平洋側と日本海側に分け、各観測地点の夏期降水量の平均値から100年確率日雨量と50年確率日雨量を算出する関係式を提案している（図4.3.9参照）。岸原(1978b)はその手法を進展させて100年確率1時間雨量の算出手法を示している。

下田（1989）は岸原（1978a,1978b）の方法を元に観測地点毎の夏期降水量と既往最大日雨量及び既往最大時間雨量の関係から、各観測地点での新極値の発生危険度を評価する方法を提案している。岸原ほか（1993）は日本とギリシャの各雨量観測点のR.P.曲線の分類を行った上で、各観測地点の年降水量と既往最大日雨量の関係から新極値の発生危険度を評価する手法を提案している。図4.3.10は日本の雨量観測データに適用した結果である。横軸は27年～59年の統計年を有する日本の123観測地点の年降水量の平均値である。縦軸は解析当時から30年前までの各雨量観測地点の既往最大日雨量である（岸原ほか,1993）。図中の●印の地点はその後の30年間に新極値が発生した地点を示している。危険度1に分類される観測地点では新極値が発生した地点が多い。

岸原ほか（1993）は既往の極値が包絡線より遠い方が新極値の発生する可能性が高いとして、新極値の発生率 Z_i を以下のように定義している。

$$Z_i = \{(Y_i - y_i) / Y_i\} \times 100$$

ここに、包絡線の方程式 $Y_i = aX_i + b$

X_i : i 地点における年降水量（mm）

a, b : 包絡線の直線式の係数

Y_i : X_i に対応する包絡線の値

y_i : i 地点における既往の極値

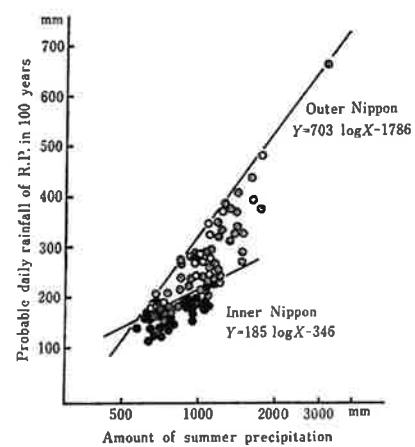


図 4.3.9 夏期降水量と100年超過確率日雨量の関係（岸原,1978a）

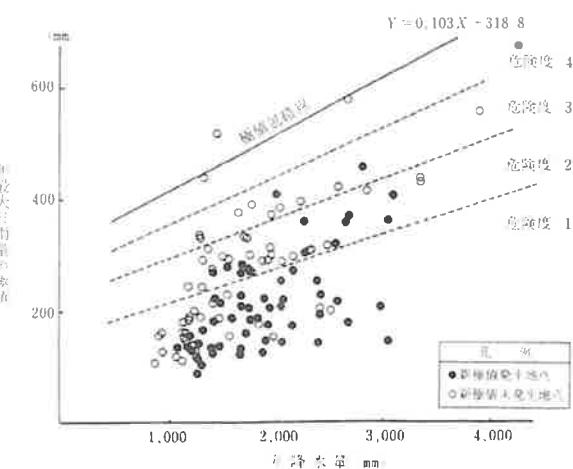


図 4.3.10 年降水量と新極値の発生危険度の関係（岸原ほか,1993）

そして、新極値発生危険度を次のように定義している。

新極値発生危険度 1 : $(100-Z_i) < 50\%$

新極値発生危険度 2 : $50\% < (100-Z_i) < 70\%$

新極値発生危険度 3 : $70\% < (100-Z_i) < 85\%$

新極値発生危険度 4 : $(100-Z_i) > 85\%$

なお、岸原ほか (1993) で示されている新極値発生危険度の定義の表現には誤植があり、それを修正した。

<引用文献>

気象庁統計課 (1958) : 日降水量の再現期間の推定法に関する調査, 測候時報, 25, pp.181-186.

鈴木昭夫・菊池原英和 (1984) : 異常豪雨を考慮した日降水量再現期間の推算法, 天気, 31, pp.29-39.

岸原信義 (1978a) : 豪雨に関する研究 (I) 年最大日雨量の再現期間の推定方法について, 日本林学会誌, Vol.60, No.8, pp.298-307.

岸原信義 (1978b) : 豪雨に関する研究 (II) 年最大 1 時間雨量の再現期間の推定方法について, 日本林学会誌, Vol.60, No.9, pp.340-344.

岸原信義・武藏哲夫 (1981) : 異常豪雨は予測できるか (I), 水利科学, Vol.25, No.4, pp.1-17.

岸原信義・法村俊郎・市川仁士・榎田充哉・斎藤裕久 (1993) : 異常豪雨は予測できるか (II), 水利科学, Vol.36, No.6, pp.1-17.

下田慎二 (1989) : 豪雨の発生予測に関する検討, 佐賀大学理工学部土木工学科卒業論文.

菅原正巳 (1979) : 水文雑話 II - 100 年洪水, 水利科学, Vol.23, No.3, pp.90-102.

4.4 地球温暖化による豪雨規模等の災害外力の変化について（執印康裕）

気候変動による地球温暖化によって、降雨強度や台風規模が増大する可能性が極めて高いことは災害外力の増加として広く認識されている。例えば日本学術会議（2011）の「提言：気候変動下における水・土砂災害適応策の深化に向けて」では、災害外力の程度を4つのレベルに区分しているが、このレベル区分を表4.4.1に示す。本表においてレベル3, 4を赤字で示しているが、この2つのレベルが気候変動に対応した適応策が求められるレベルとなる。レベル2とレベル3の違いは、レベル2では災害外力を過去に発生した最大級の範囲内にあるものを対象としているのに対して、レベル3では過去の最大規模（既往最大）を上回る災害外力を対象としていることであろう。本提言におけるレベル3に相当すると考えられる代表事例の1つに、気象庁によって「平成30年7月豪雨」と命名された豪雨による災害外力が挙げられる。

表 4.4.1 災害外力の程度に応じたレベル区分（日本学術会議、2011より）

レベル区分	災害外力の程度
1	洪水などの頻度や規模は増大しているが、従来の社会的認識の範囲内にあり、従来型の取組みで対応可能。ハード主、ソフト従、行政が主。
2	洪水などの頻度や規模が相当程度に増大しており、過去発生した最大級のものの範囲内にはあるものの、適応策の実施には相当の困難を伴う。現在のあらゆる知見や技術などを総動員して対処する必要があるが、従来の認識の延長線上にある。
3	複数の要因が絡み合った相乗効果（例えば洪水と土砂災害）や社会システムの破綻などにより、被害が加速度的に拡大する。適応策として新たなソフト&ハードの技術開発が必要。
4	全く未経験のゾーン。経済活動や産業活動の長期間停止などの極めて甚大な影響。政治的な不安定、緊張。国、社会全体としての長期にわたる事前の対処が不可欠。



被災前イメージ（株式会社パスコ提供）

被災後状況写真（国土交通省提供）

図 4.4.1 平成30年7月豪雨による広島県呉市天応西条地区における被災前後の状況

本豪雨において、西日本から東海地方を中心とした広域の多くの観測点で48時間雨量、72時間雨量が史上1位を記録している。また平成30年7月1日から10日にかけて全国のアメダス地点で観測された総降水量は、統計上で比較可能な1982年以降の旬ごとの総降水量と比較して最大であり、本事象は地球温暖化の影響を受けたことが報告されている（気象庁、2018）。本豪雨は広域を対象に

数多くの災害を発生させているが、その1つである広島県呉市天応西条地区における被災状況を図4.4.1に示す。本図は豪雨によって山地溪流から流出してきた土砂が県道等に2m以上堆積した状況を示している。この流出土砂の堆積範囲は、土砂災害防止法に基づく調査により、土石流を対象に設定された土砂災害警戒区域の範囲外まで広く達している。無論、本図に示した土砂流出の流動形態は土石流というよりも土砂流に近いものであった可能性は高いが、本事象はこれまでの適応策では十分に対応することが難しく、表4.4.1のレベル3に相当する災害外力によって生じたハザードによる水・土砂災害であったことを示している。

前段において「平成30年7月豪雨」に対して気象庁(2018)が地球温暖化の影響について言及したことを見たが、具体的には「地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与もあったと考えられます。」と記載されており、当然ながら本豪雨をもたらした要因の全てを地球温暖化に帰するものではない。ただし、日本全国において表4.4.1のレベル3に相当する災害外力が発生しやすい傾向（時系列トレンド）にあることが、気象庁の観測データから示されている（気象庁HP）。図4.4.2は気象庁が公開している数値データを図化したものである。図4.4.2の(A)および(B)は各気象要素の観測諸量の時系列変化を示し、(C)および(D)は一定の観測諸量の基準値を超過する出現頻度に対する時系列変化を示している。本図より最近のおよそ120年間で、平均気温が100年あたり1.21°C上昇し（図4.4.2(A)参照）、日降水量200mm以上の1地点あたりの出現頻度が100年で0.04回増加していること（図4.4.2(C)参照）が分かる。また最近のおよそ40年間では年最大日降水量が30年間（1981–2010年）の基準値と比較において10年間で3.4%上昇している傾向にあること（図4.4.2(B)参照）、1時間降水量50mm以上のアメダス1,300地点あたりの出現頻度が10年で27.5回増加していること（図4.4.2(D)参照）が分かる。つまり図4.4.2に示す結果は、過去から現在までの100年程の期間でみると、近年では表4.4.1に示したレベル3に相当する災害外力の規模（短時間降水強度、降水量）が発生し、かつその発生頻度が増加する傾向にあることを、長期観測データから示すものである。

ただし図4.4.2の赤太線で示した長期時系列トレンドは、これまでの観測結果から得られたものであることから、この傾向を外挿することで数10年先までの予測を行うことが必ずしも適切でないのは自明である。

つまり先に示した表4.4.1においてレベル4における災害外力の程度は「全く未経験のゾーン」として示されているが、このゾーンに対して事前に対処するために気候モデルによる将来予測が必要となる。一例として住(2016)が紹介した気候モデルのシミュレーション結果を利用した検討結果(Oki, 2016)を図4.4.3に示す。本図は年最大日降水量とその再現期間が温暖化によってどのように変化するかを示したものである。これによれば、東京近辺の平均気温が20°Cから21°Cに上昇することで、年最大日降水量が10%ほど増加し、豪雨の出現頻度が3倍程度にまで増加すると予測されていることが分かる。

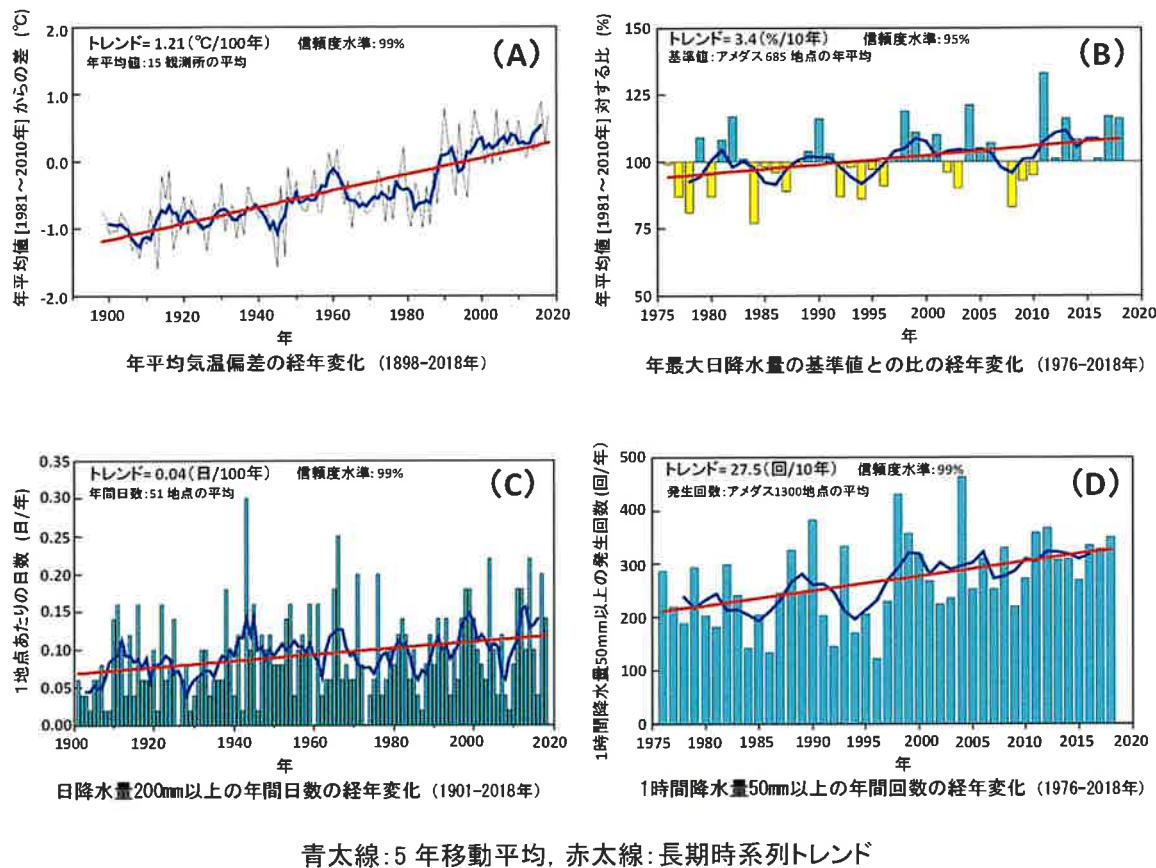
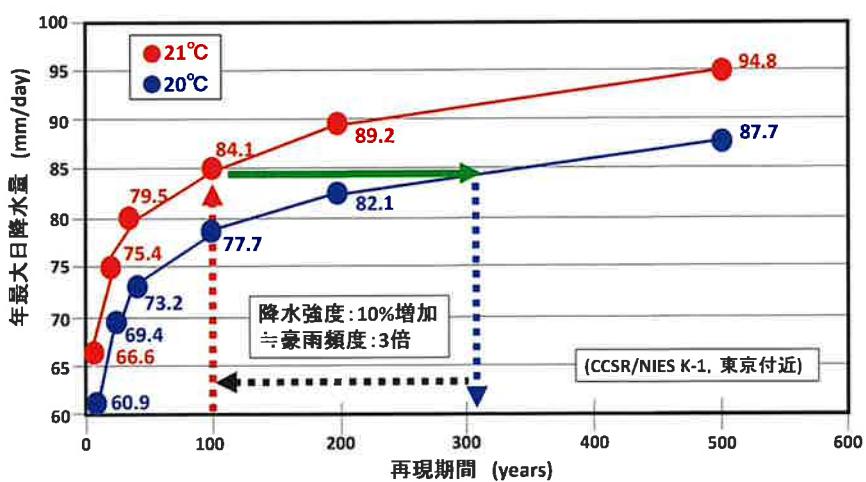


図 4.4.2 日本全域を対象とした気候変動の時系列変化 (気象庁 HP データにより作成)

図 4.4.3 再現期間と年最大日降水量関係における気候モデルによるシミュレーション結果
(Oki T. 2016)

<引用文献>

- 気象庁 HP:<https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>, (2019年4月30日 閲覧)
- 気象庁(2018) :「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について,
<https://www.jma.go.jp/jma/press/1808/10c/h30goukouon20180810.pdf>, (2019年4
月30日 閲覧)
- 日本学術会議(2011) : 気候変動下における水・土砂災害適応策の深化に向けて,
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-t130-9.pdf> (2019年5月1日閲覧)
- Oki T. (2016): Water Resources Management and Adaptation to Climate Change. P.27-40,
In: Biswas A., Tortajada C. (eds) Water Security, Climate Change and Sustainable
Development. Water Resources Development and Management. Springer, Singapore,
DOI 10.1007/978-981-287-976-9_3
- 住 明正 (2016) : 気候変動に伴う極端気象や自然災害の増加の実態とその理由, 月間事業構想オン
ライン, <https://www.projectdesign.jp/20002/dp40/002954.php>, (2019年5月1日閲
覧)

4.5 気象変動に関連した近年の特異な土砂災害の現状

表 4.5.1～表 4.5.3 に近年（平成 27～30 年度）の主な土砂災害を示す。

表 4.5.1 平成 30 年度の主な土砂災害（土石流、地すべり、がけ崩れ）
(国土交通省の土砂災害概要)

年度	発生日	気象 (台風、梅雨前線、豪雨)	現象	場所	災害名
平成30年 (2018)	3/10		地すべり	新潟県妙高市長沢	
	4/11		がけ崩れ	大分県中津市耶馬溪町	
	7/6	九州北部豪雨	がけ崩れ	福岡県北九州市門司区	平成30年7月豪雨
	7/6	九州北部豪雨	土石流	広島県安芸郡熊野町川角	平成30年7月豪雨
	7/7	九州北部豪雨	土石流	愛媛県宇和島市吉田町	平成30年7月豪雨
	9/6		がけ崩れ	北海道勇払郡厚真町吉野地区	
	9/6		がけ崩れ	北海道勇払郡厚真町高岡地区	
	10/23	台風第12号、 第15号の大雨	土石流	和歌山県海草郡紀美野町	

表 4.5.2 平成 29 年度の主な土砂災害（土石流、地すべり、がけ崩れ）
(国土交通省の土砂災害概要)

年度	発生日	気象 (台風、梅雨前線、豪雨)	現象	場所	災害名
平成29年 (2017)	7/5	豪雨	土石流	福岡県朝倉郡東峰村	平成29年7月九州北部豪雨
	7/5	#	土石流	大分市中津市山国町草本	平成29年7月九州北部豪雨
	7/6	#	地すべり	大分市日田市小野	平成29年7月九州北部豪雨
	7/6	#	がけ崩れ	福岡県朝倉市杷木松末	平成29年7月九州北部豪雨
	9/17	台風第18号の大雨	がけ崩れ	宮崎県高千穂町	
	9/17	#	土石流	大分県津久見市	
	9/17	#	がけ崩れ	大分県臼杵市	
	9/17	#	がけ崩れ	香川県三豊市高瀬町	
	9/17	#	がけ崩れ	京都府福知山市	
	9/17	#	がけ崩れ	兵庫県新温泉町	
	9/17	#	がけ崩れ	愛媛県久万高原町	
	9/18	#	土石流	北海道伊達市喜門別町	
	9/18	#	土石流	岩手県釜石市	
	10/22	台風第21号の大雨	土石流	奈良県五條市生子町	
	10/22	#	がけ崩れ	神奈川県横浜市金沢区	
	10/22	#	土石流	三重県多気郡多気町	
	10/23	#	地すべり	新潟県糸魚川市	
	10/23	#	土石流	和歌山県海草郡紀美野町	
	10/23	#	地すべり	長野県上水内郡小川村	
	10/23	#	がけ崩れ	群馬県安中市	

表 4.5.3 平成28年の主な土砂災害（土石流、地すべり、がけ崩れ）
 （国土交通省の土砂災害概要）

年度	発生日	気象 (台風、梅雨前線、豪雨)	現象	場所	災害名
平成28年 (2016)	4/16	平成28年熊本地震	土石流	熊本県阿蘇郡南阿蘇村	
	4/16	"	地すべり	熊本県阿蘇郡南阿蘇村	
	4/16	"	がけ崩れ	大分県中津市耶馬渓町深耶馬渓	
	6/20	6/19から続く梅雨前線豪雨	がけ崩れ	熊本県天草市大矢野町	
	6/20	"	がけ崩れ	熊本県熊本市北区津浦町	
	6/23	"	土石流	岡山県笠岡市神島	
	6/23	"	土石流	愛媛県今治市吉海町	
	6/23	"	がけ崩れ	広島県廿日市市大野	
	6/28	"	がけ崩れ	鹿児島県姶良市蒲生町	
	6/28	"	がけ崩れ	長崎県長崎市御船藤町	
	6/30	"	土石流	鹿児島県垂水市二川深港	
	7/3		がけ崩れ	島根県江津市黒松町	
	8/21	台風第9号、10号、11号、13号、16号	がけ崩れ	北海道白糠郡白糠町タンタカ	
	8/30	台風第10号	土石流	岩手県下閉伊郡岩泉町	
	9/7	台風第13号	土石流	群馬県沼田市利根町柿平	
	9/9	台風第13号	がけ崩れ	北海道目梨郡羅臼町宇礼文町	
	9/20	台風第16号	土石流	鹿児島県垂水市牛板麓	
	9/20	"	がけ崩れ	鹿児島県垂水市二川	
	9/20	"	土石流	宮崎県宮崎市高岡町五町	
	9/20	"	がけ崩れ	鹿児島県曾於市大隅町中之内	
	9/20	"	がけ崩れ	高知県宿毛市小筑紫町伊与野	
	9/22	"	地すべり	長野県上水内郡小川村	

表 4.5.4 平成 27 年の主な土砂災害（土石流、地すべり、がけ崩れ）
 （国土交通省の土砂災害概要）

年度	発生日	気象 (台風、梅雨前線、豪雨)	現象	場所	災害名
平成27年 (2015)	4/15		地すべり	山形県最上郡戸沢村 もがみぐん とざわむら	
	5/29		土石流	鹿児島県熊毛郡屋久島町口永良部島 くよげぐなんくしまちょうくちのえらぶ じょ	
	6/10	6/10から続く梅雨前線	地すべり	鹿児島県南さつま市坊津 みなみ し ばうのつ	
	6/11	"	がけ崩れ	熊本県宇城市三角町波多 うきし みすみよら はな	
	6/11	"	がけ崩れ	熊本県天草市大矢野町登立 おおやののまち のぼり立て	
	6/12	"	土石流	大分県日田市上津江町川原 ひんし かみつえ ようちかわら	
	6/14	"	がけ崩れ	鹿児島県鹿児島市南新町 しんしのまち	
	6/18	"	がけ崩れ	高知県四万十市大橋通6丁目 しまんとし おおはし だいおうじゆめ	
	6/24		土石流	鹿児島県垂水市二川深港 たるみずし ふんがわふかみなと	
	7/16	台風11号の大雨	がけ崩れ	長野県天龍村平岡 あなんし ひらおか	
	7/17	"	がけ崩れ	徳島県阿南市加茂町 あなんし かしきょう	
	7/17	"	土石流	愛媛県東温市山之内 とうおんし やまとうち	
	7/17	"	土石流	岡山县倉敷市小島田の口 くらしきし こじよ のくち	
	7/17	"	がけ崩れ	岡山县岡山市北区 くらしきし きたく	
	7/17	"	がけ崩れ	和歌山县広川町下津木 ひろがわちやましもつぎ	
	7/17	"	がけ崩れ	山梨県上野原市八ツ沢 うえのはらし やつ さわ	
	7/18	"	がけ崩れ	京都府京都市左京区 きょうとし さきょうく	
	7/19	"	地すべり	奈良県天川村坪内 なにがわむらひづのうち	
	8/25	台風15号の大雨	がけ崩れ	熊本県芦北町吉尾 あしあきたよしのし	
	8/25	"	がけ崩れ	熊本県芦北町立川 あしあきたよしならかわ	
	8/25	"	がけ崩れ	宮崎県椎葉村不土野 しりやそん ふどの	
	8/25	"	土石流	宮崎県美郷町南郷上渡川 なんごうかみみどりがわ	
	8/25	"	土石流	長崎県南島原市深江町 みなみしまじまらじかみちよう	
	9/9	台風18号の大雨	土石流	福島県南会津郡南会津町 みのみいづみち	平成27年9月関東・東北豪雨
	9/10	"	土石流	栃木県日光市岸沢 せりさわ	平成27年9月関東・東北豪雨
	9/10	"	がけ崩れ	栃木県鹿沼市日吉町 かぬよし ひよしきょう	平成27年9月関東・東北豪雨
	9/10	"	がけ崩れ	栃木県宇都宮市大網町 おおあみちょう	平成27年9月関東・東北豪雨
	9/10	"	地すべり	宮城県白石市越河平久保 こくわいへいくわ	平成27年9月関東・東北豪雨

図 4.5.1 に平成 18～平成 30 年の土砂災害発生状況のグラフ、図 4.5.2 に全国の 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数の経年変化 (S50～H30 年) を示されている。

H18 から H30 年の期間でみると長期変化傾向の赤線が上昇傾向にある。

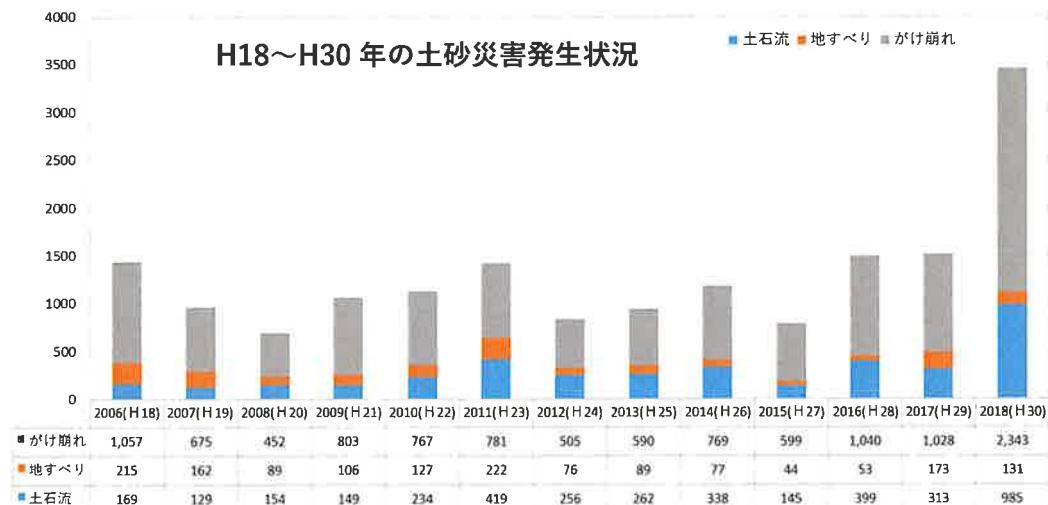


図 4.5.1 H18～H30 年の土砂灾害発生状況 (国土交通省資料より収集)

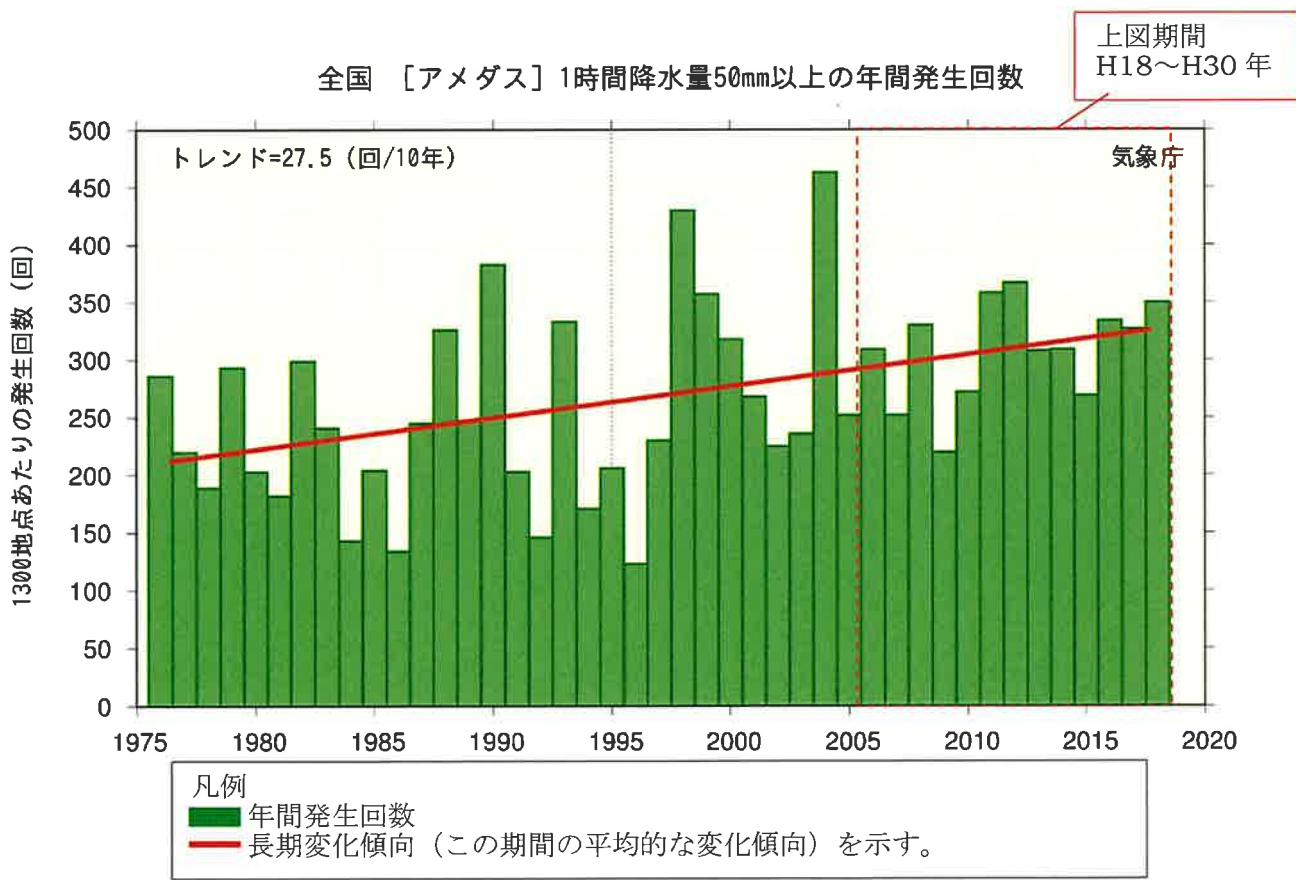


図 4.5.2 全国の 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数の経年変化 (1976～2018 年)
(気象庁, 2019)

<引用文献>

気象庁 (2019) : http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html

4.6 土砂移動の誘因である豪雨の実態と長期的な変化（土屋 智）

4.6.1 はじめに

近年温暖化現象がもたらす局地的な集中豪雨の発生により、過去に経験したことが無いような強雨・大雨が大規模な土砂移動現象を発生させている。2018年には「平成30年7月豪雨」(気象庁命名)により、広島県では呉市20名、広島市19名など87名、愛媛県で17名の死者を数える甚大な土砂災害が生じた。同時期に岡山県、福岡県、山口県、鹿児島県の土砂災害による死者を合計すると119名(国交省砂防部調べ)に達し、36年前の長崎豪雨災害(1982年、3時間で366mmを記録)の262人に次ぐ規模となった。この「平成30年7月豪雨」は、上記の西日本域以外にも中部域の岐阜県に多量の降雨をもたらし、人的な被害は伴わなかったものの森林地帯では山腹崩壊に伴う土砂流出を生じた。

岐阜県を襲った豪雨は、短期的な時間雨量としてはそれほど大きくはなかったが降雨期間は長く、累加雨量にすると過去に長良川を決壊させた降雨(木村, 1997)よりも大きかった。しかしながら、瀬戸内海一帯のように大規模な土砂流出をともなった災害に比べれば、土砂移動箇所は少なくその規模も小さかった。この理由については、土砂移動現象の素因をベースに総合的な調査・研究による多方面からの解析結果を望みたいが、まずは誘因としての降雨実態を明らかにしておくことは有意義であろう。このことから、「平成30年7月豪雨」に伴う岐阜県郡上市における土砂流出と降雨状況について報告し、次いで静岡県中部域における近年の豪雨の長期的な変化について述べる。

土砂災害の誘因としての降雨が温暖化による影響をどの程度受けているかを調べておくことは、今後に発生する土砂移動現象の推定には欠かせない。長期の降雨記録は、全国に 17km^2 毎1箇所のアメダス気象観測所の過去約40年にわたる時間雨量の蓄積が利用できる。今回は、静岡県の中部域をモデルに1977年から2018年のアメダス資料を用い、年最大時間雨量と年最大累加雨量を整理しその規模の推移や発生頻度、確率年を調べ、局地的な集中豪雨が過去40年でどのように変化したかの実態把握を試みた。

4.6.2 「平成30年7月豪雨」に伴う岐阜県郡上市における土砂流出

岐阜県中濃地域から飛騨地域にかけては、2018年7月4日零時過ぎから8日の午前にかけて梅雨前線の活発化に伴う断続的な強雨に見舞われた。郡上市大和町奥田洞谷においては、2018年7月8日未明に渓流源頭部の森林斜面でやや大きな山腹崩壊が発生し、その一部約 $5,000\text{m}^3$ の崩土が渓流を下った。また、同市八幡町小那比井原洞でも、8日未明から早朝にかけて住家の北方150m上流に位置する渓流右岸斜面で、山腹崩壊が発生した。

(1) 降雨状況

図4.6.1には、当該地の近隣にある白鳥観測所(国交省管理)と八幡観測所(国交省管理)における7月4日1時から同月8日24時までの時間雨量と累加雨量を対比して示す。両観測所の降雨継続時間は、1~3時間の無降雨時間を含むが、白鳥では7月4日2時から8日14時までの109時間、八幡では7月4日1時から8日13時までの同じ109時間である。

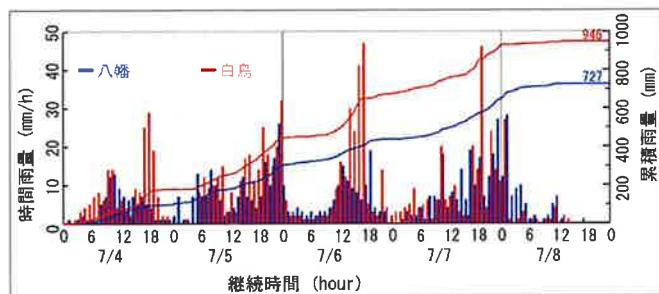


図4.6.1 白鳥観測所と八幡観測所における降雨記録(国交省水文水質データベース)

しかし、時間雨量の分布は両観測所で大きな違いがあるため、累加雨量は大きく異なり、白鳥では946mmであるが、八幡は727mmと白鳥の3/4程度である。

時間雨量をみると、白鳥では突発的に強雨が観測されているが、八幡ではやや緩慢に推移している。白鳥では7月6日に40mm/hを超す強雨が2時間続き、7日18時にも同様の強雨があった。八幡では7月5日深夜と7日深夜から8日夜半に30mm/hに近い強雨があった。最大時間雨量は、白鳥で7月6日17時47mm/h、八幡では7月8日1時に28mm/hを観測した。両観測所ともに7日深夜から8日にかけて30mm/hに近い強雨を観測しており、この時間帯の強雨が、奥田洞谷と井原洞の山腹崩壊の発生に関与した可能性がある。

図4.6.2には、白鳥と八幡における1976年から2017年までの時間雨量記録から、一連の降雨イベント（無降雨6時間以上あれば、別降雨イベントとする）について、累加雨量と継続時間を求め、2018年7月降雨とともに対比した。対象期間中の降雨イベント数は白鳥で4,294回

（1999以降12月から4月までの冬期間は欠測）、八幡では4,729回であった。図4.6.2によれば、今回の両観測所における累加降雨（白鳥946mm、八幡727mm）は、データが密集する累加雨量500mm以上で継続時間110時間の範囲から外れ、過去42年間で突出した大きさであることがわかる。また、両観測所における降雨継続時間の109時間みると、白鳥では期間内最大の143時間から4番目、八幡では118時間に次いで2番目の大きさであった。

なお当該降雨について、年最大累加雨量の分布が対数正規分布に従う（荒木・椿、1962）として年超過確率を求めるとき、両観測所とも最上位を示し、白鳥では1,000年を優に超え、八幡でも300年を超ることがわかる。ちなみに、両観測所とも第2位は、1976年に長良川の右岸堤防道路を決壊させた豪雨（木村、2010）である。同様に、降雨継続時間109時間について年超過確率を求めるとき、白鳥で12.2年、八幡では28.9年となった。このように、今回の累加雨量は過去において特異なものといえる。

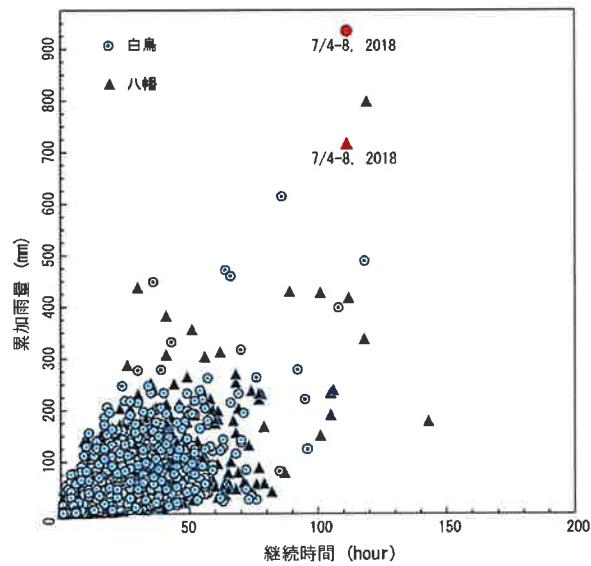


図4.6.2 累加雨量と継続時間の対比（白鳥観測所、八幡観測所：1976-2017年、国交省水文水質データベース）

(2) 大和町奥田洞谷の土砂流出

奥田洞谷流域は、砂防堰堤を谷出口として標高 320m から最高地点の標高 558m の区間にある（図 4.6.3）。砂防堰堤から最高地点までの平均傾斜は約 26°で山腹は急斜面を呈する。崩壊は標高 460m から 510m 区間で発生し、崩土は標高 410m 付近まで分布している。崩土が分布する斜面勾配は約 40°と急勾配であり、最上部にある滑落崖はこれよりさらに急である。流域の地質は、中生代前期ジュラ紀から中期ジュラ紀に形成された付加体で砂岩泥岩互層からなる（産総研,2013）。溪床部は、亀裂に富んだ硬質な砂岩、泥岩が溪床から 2m 程の高さまで露出しており、崩土が流下時に両岸表土を削剥した様相が伺える。

谷出口には高さ 10m、幅 45m の奥田洞谷砂防堰堤（昭和 50 年 9 月竣工）があり、その 50m 下流には高さ 1.5m、幅 3m の断面を有する渓流保全工が約 120m 長で設置されている。

源頭部の山腹崩壊から流下した土砂の約 5,000m³ が砂防堰堤に到達した。このうち、砂防堰堤に約 4,000m³ が捕捉され（図 4.6.3）、約 1,000m³ が堰堤水通しを通過した。通過後約 700m³ は砂防堰堤と渓流保全工の間に堆積し、残り約 300m³ が渓流保全工に入り、下流端の合流点付近に堆積した。これにより、流下した土砂のほとんどが砂防施設内で処理され、集落域には及ばなかった。なお、近隣住民からの聞き取りによれば、山腹崩壊に伴う土砂の流下は 7 月 8 日午前 2~3 時に起きたとされる。土砂流出当時、周辺住民の多くは、避難場所である洞口公民館（図 4.6.3）に避難していた。

(3) 八幡町小那比井原洞の山腹崩壊と土砂流出

八幡町小那比井原洞では、7 月 8 日未明（午前 6 時頃に住民から通報があった）小那比川の支流神奈良川右岸で住家の脇を流下する渓流の約 150m 上流で山腹崩壊があり（図 4.6.4），流下した崩土と流木で道路横断排水施設が閉塞され、その一部が溢れた。当該地区の地質は、奥田洞谷と同じ中生代に区分されるものの、新しく中生代中期ジュラ紀から前期白亜紀に形成された付加体で砂岩層を主体とする地質からなる。

山腹崩壊は、渓流右岸のスギ・ヒノキ混交林内で発生し、崩壊頭部には露出した岩盤上面からの湧水が確認された（図 4.6.4）。

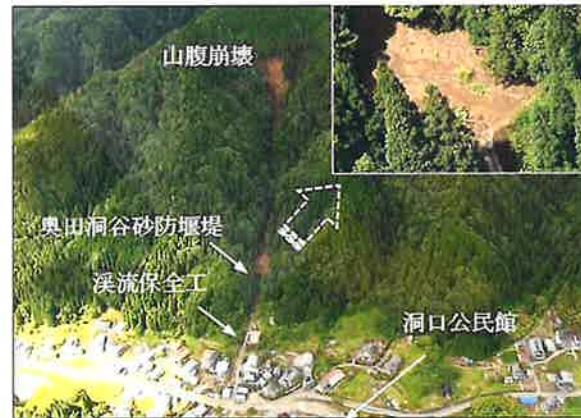


図 4.6.3 奥田洞谷の災害直後の斜め写真（岐阜県砂防課撮影に加筆）



図 4.6.4 小那比井原洞のスギ・ヒノキ林で発生した山腹崩壊と渓間工

崩壊の規模は、幅約 20m、長さ約 50m、崩壊深さ約 2m で、崩土量として約 2,000m³、一般的な表層崩壊に比べ大きな規模である。崩壊斜面から流下した崩土は、渓床近くで渓流の流下方向に流れるとともに、その直下に位置する谷止工の貯砂域で減勢され、一部を堆積させ、流木も捕捉した。

(4) 土砂流出実態と当該降雨のまとめ

奥田洞谷で発生した山腹崩壊に伴う崩土は、谷出口に設置された砂防堰堤で多くが捕捉され、溢れた一部は下流の流路工との接続区間で堆積し、流路工にはわずかな土砂が流下するにとどまった。このため、砂防堰堤から下流一帯は、土砂災害警戒区域に指定されていたが、流下した不安定土砂は、砂防施設で安全に処理された。また、郡上市八幡町井原洞で発生した山腹崩壊は、流木を混入した崩土が住居域に達したが、その上流に設置された渓間工で抑制されたため、大きな被害を生ずるには至らなかった。

山腹崩壊の誘因となった降雨は、白鳥、八幡の両観測所において累加雨量で 1976 年以来第 1 位の大きさ、年超過確率は白鳥で 1,000 年以上、八幡では 300 年以上を示した。また、降雨継続時間は白鳥で観測以来 4 番目、八幡で 2 番目の長さであった。したがって、極めて稀な累加雨量を有する降雨で、その継続時間も長かったといえる。

これまで経験したことが無い多量の降雨であったものの、道路法面では変状や崩落、森林地帯では山腹崩壊や土砂流出が生じたが、土砂災害による人的犠牲は発生しなかった。また山地における山腹崩壊の発生は少なく、崩壊に伴う崩土の流下があつても対策工で制御された箇所があった。岐阜県などによる防災対策事業が効果を發揮したと判断される。

4.6.3 アメダス資料による降水量の推移

気象庁が管理するアメダスは、全国約 1,300 箇所（約 17km 間隔）で 40 年以上にわたる降雨記録を有している。ここでは、静岡県中部域の観測所を対象に、アメダス降雨データ（1 時間）を用い、40 年間（1979 年から 2018 年）における年降水量、時間降水量、累加降水量の年最大値の着目し、その変化を時系列で確かめることにする。用いたアメダス観測所の諸元と期間は図 4.6.5 に示す通りである。

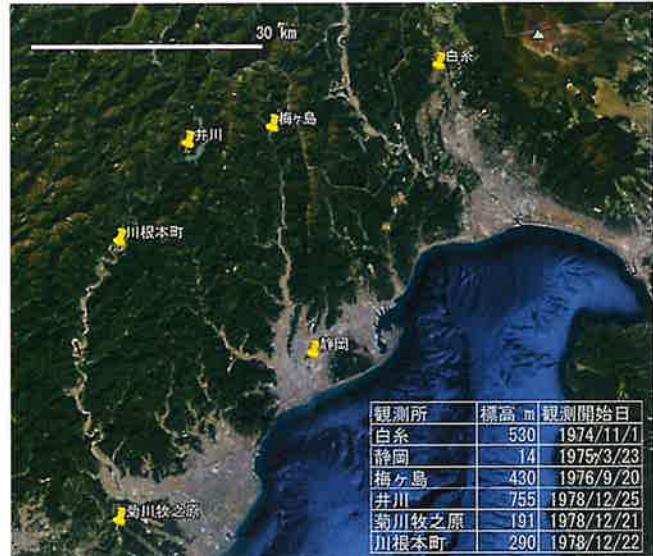


図 4.6.5 静岡県中部域のアメダス観測所と諸元

(1) 年降水量

年降水量は、流域の水資源涵養には大きく影響するものの、土砂移動に関する誘因としての影響は小さいと判断される。しかしながら、台風や前線に伴う豪雨が数多く発生すれば、年降水量の数値を押し上げることが予想される。このようなことから過去 40 年間の年降水量の変動を調べた。

静岡県中部域は、海岸に近い地域の海洋性気候と標高の高い内陸台地や山間部の内陸性気候を持ち、大井川上流域は雨が多く冬期は厳しい低温となり降雪も多い（静岡気象台、2018）。年降水量は、平

地で 1,800~2,300mm 前後、静岡市山岳部で 3,000mm 程度とされる（静岡気象台、2018）。

図 4. 6.6 に対象とした静岡県中部域のアメダス 6 観測所の 40 年間の推移を示す。これによれば、6 観測所とも年降水量の変化幅は約 2,000mm と大きいが、その増減にトレンドは見られない。海岸に近い静岡と菊川牧之原は、概ね 2,200mm を中心に最大約 3,500mm、最小約 1,500mm を示し、大井川上流域と安倍川上流域に位置する梅ヶ島、井川、川根本町は、約 3,000mm 前後を中心最大約 5,000mm、最小約 2,000mm と大きな変化を示す。なお、富士山西麓の白糸では約 2,000mm 前後を中心に約 1,000mm の増減を示すが、他の 5箇所の観測所の変化に比べやや小さい。

また図 4. 6.6 から 1983 年と 1984 年、2004 年と 2005 年に多くの観測所で大きな降水量変化を示すことがわかる。1983 年の累加雨量を調べると、8 月には、台風 5・6 号の影響で、累加雨量 400 から 700mm の大雨があり、2004 年 10 月には、台風 22・23 号の通過で 900mm 前後の降水量を記録した。このように、台風が長雨を伴う場合は、その影響が年降水量の増加に表われる。

(2) 年最大時間雨量

時間雨量は、土砂移動現象の誘因として、その発現を大きく支配する。ここでは各観測年における最大時間雨量の大きさの推移を調べ、時間雨量 50mm/h, 30mm/h を超過する各年の回数を時系列に対比し、観測期間内の傾向把握を試みる。

図 4. 6.7 に対象としたアメダス 6 観測所の 40 年間の年最大時間雨量の推移を示す。これによれば、全体として各観測所とも 2008 年までの変動(バラツキ)は大きいが、その後 10 年は平均に対して上下 20mm 前後に留まっているようである。観測所ごとに見れば、白糸では 40mm/h を平均に上下 20mm 前後の範囲で推移し、静岡、梅ヶ島、井川、菊川牧之原、川根本町では 50mm/h を平均に上側に約 30mm、下側に約 20mm の範囲で推移しているようである。上限をみれば、井川では時間雨量 80mm/h を超過する回数は、5 から 10 年で周期的に 7 回、梅ヶ島では 2 回、静岡では 2003 年に 111mm/h の最大時間雨量を観測している。このように、年最大時間雨量の推移をみると、増減に関する傾向は見られずランダムな変動を生じていると判断される。

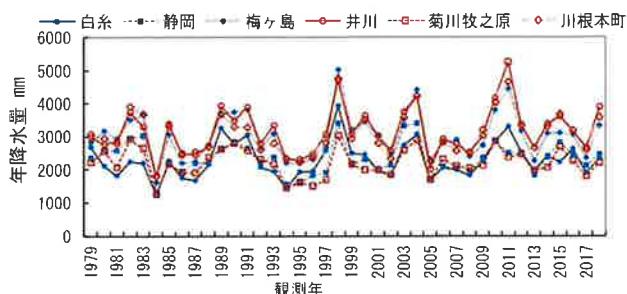


図 4. 6.6 静岡県中部域アメダス観測所における年降水量の推移

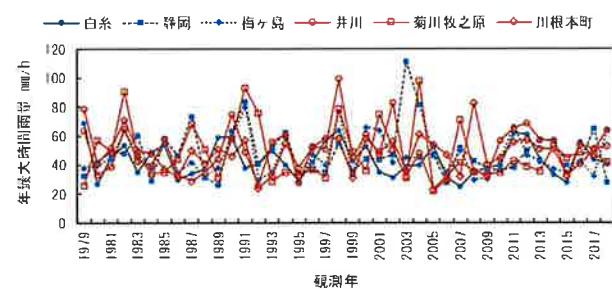


図 4. 6.7 静岡県中部域アメダス観測所における年最大時間雨量の変化

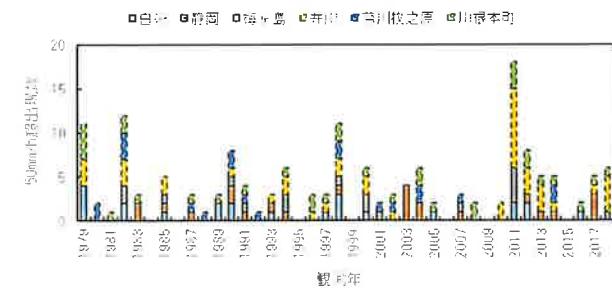


図 4. 6.8 静岡県中部域アメダス観測所における時間雨量 50mm/h 超過回数の推移

図 4.6.8 は、各観測所において時間雨量 50mm/h を超過する回数を年ごとに求め、積み上げ棒グラフとして対比した。これによれば、各観測所の合計超過回数は、10 回を超す年が 4 年あり、2011 年は最大 18 回を数えた。観測期間の年平均は 4 から 5 回であるから、観測所平均では年 1 回程度である。突出する 2011 年は、井川の超過数は 9 回を示すが、これは紀伊半島を中心に記録的な大雨をもたらした降雨の一部が井川に影響したことによる。2010 年以降の超過回数の平均値をとれば、2011 年の影響があるので、それ以前の期間に比べ若干大きくなる。

図 4.6.9 は、図 4.6.8 同様に各観測年において、時間雨 30mm/h を超過する回数を対比した。観測所の合計超過回数は、50 回を超す年が 4 年あり、2004 年は最大 62 回を数えた。観測期間の平均は 20 回前後であるから、観測所平均では年 3 回程度出現したことになる。また 50mm/h の場合は 2010 年以降の超過回数の平均値で若干大きくなることが示されたが、30mm/h ではそれ以前と変わらないようである。

この結果から、40 年間の静岡県中部域における年最大時間雨量は、50mm/h を平均に 80mm/h 超 7 回、100mm/h 超 1 回を記録するが、その推移は周期的あるいは突然で時系列的な傾向は見られない。また、50mm/h を超過する回数は年間 1 回程度、30mm/h は年間約 3 回であるが、記録的な大雨時の影響を受けた観測所では 50mm/h の超過回数は 9 回と突出して多かった。したがって、強雨の発現に関しても時系列的な傾向は見られないと判断される。

(3) 年最大累加雨量

雨の降り始めから当該の時刻までに降った雨量の合計量を累加雨量と呼んでいる。降雨期間中に無降雨（降雨を観測しない時間）が一定期間続く（一般に 6 時間）と、累加雨量はゼロにされその後に雨量を検出すると新たな雨として区別する。土砂災害の発生と規模は、降雨強度と累加雨量により大きく影響されることから、各観測所の一雨について累加雨量を求め、時系列な傾向を調べた。

図 4.6.10 は、一雨の無降雨期間を 6 時間として求めた各観測所の年最大累加雨量を時系列に対比したものである。各観測所の年最大累加雨量は 300mm をほぼ平均として推移するが、大井川上流域の川根本町、井川と安倍川上流域の梅ヶ島ではその倍となる 600mm 超が発生している。特に 2011 年の紀伊半島を中心とする記録的な大雨時には、3 観測所で 600mm を超えるとともに、井川では 1,100mm を超えた。このように年最大累加雨量は、観測年の推移とともに変化する傾向はみられず、ランダムであるといえる。

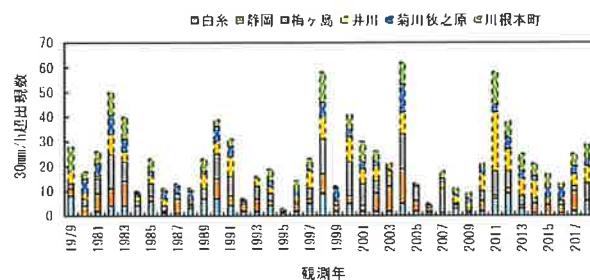


図 4.6.9 静岡県中部域アメダス観測所における時間雨量 30mm/h 超過回数の推移

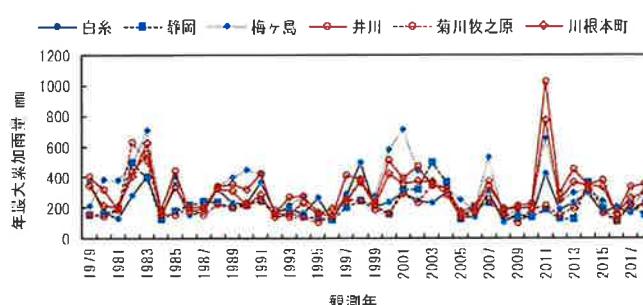


図 4.6.10 静岡県中部域アメダス観測所における年最大累加雨量の推移

図 4.6.11 は、各観測所の累加雨量 400mm を超過する回数を観測年ごとに求め、積み上げ棒グラフとして対比した。各観測所の合計回数は、5 回以上の年が 1892 年、1893 年、2011 年と 3 回あった。

結果のバラツキは大きいが、観測期間内の各観測所の平均は 2 回程度であるが、図 4.6.8 と同様に突出する 2011 年は、梅ヶ島、井川、川根本町で超過数 9 回が発生している。このように、累加雨量 400mm 以上の大雨の発現には時系列的な傾向は見られず、前触れなく起きている。

(4) 降水量の生起確率

これまで記録した年最大時間雨量は図 4.6.7 に示すように、井川と梅ヶ島では時間雨量 80mm/h を超過する豪雨が数年から 10 年ごとに出現し、静岡では各観測所の最大である 111mm/h (2003 年) の雨量があった。また、累加雨量を見ると、600mm 超の大雨が梅ヶ島、川根本町、井川で発生しており、2011 年には井川で 1,100mm を超える大雨があった。

観測期間で得た降雨の生起確率を定量化しておくことは、治山治水における対策構造物の規模を決め、効率的な事業を進めるうえで欠かせない指標である。ここでは、静岡県中部域の各観測所で得られた年最大時間雨量と年最大累加雨量について、これらの年極値が対数正規分布に従うと仮定し、超過確率の計算にはヘーゼン法を用い、生起確率を整理した。

(i) 年最大時間雨量

図 4.6.12 に静岡県中部域アメダスの各観測所資料から求めた年最大時間雨量の超過確率の分布を示す。

図中の各観測所の近似直線は、最小二乗法により求めた。近似直線からのズレをみると、川根本町と菊川牧之原やや大きいが、それ以外は概して良好に直線状に並ぶ。

白糸の超過確率 5% 以下をみると観測値は、近似直線から下側に分布しているので、この範囲の確率年に対応する予測値は、観測値よりも大きな値となる。一方、菊川牧之原の超過確率 4 から 20% の範囲では、観測値が直線の上側に位置することから、この範囲の確率年に対応する予測値は、観測値よりも小さくなる。

静岡の最大時間雨量 111.5mm/h をみると、ヘーゼンプロットでは観測期間 40 年であるため、超過確率は 1.25% (確率年 : 80 年) で、近似直線から得られる予測値は約 93mm/h となり、図 4.6.12

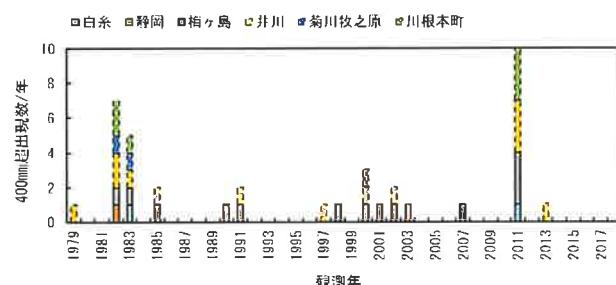


図 4.6.11 静岡県中部域アメダス観測所における累加雨量 400mm 超過回数の推移

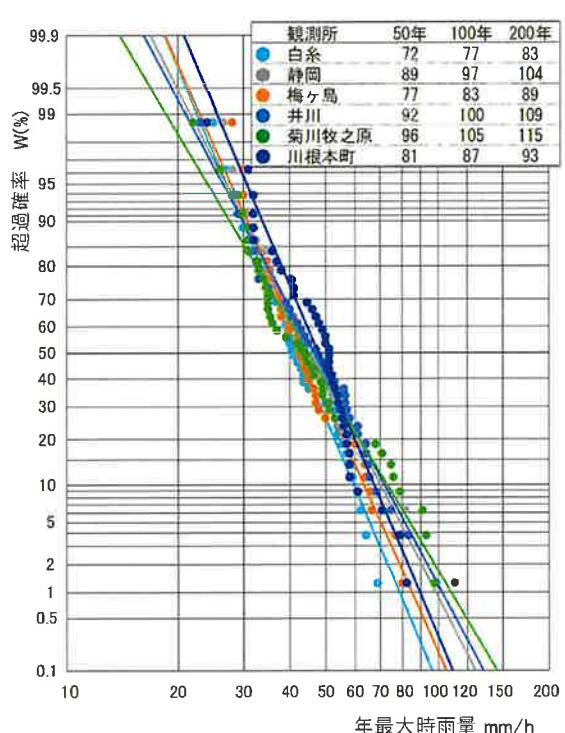


図 4.6.12 静岡県中部域アメダス観測所における年最大時間雨量の超過確率

のプロットに示すように観測値との違いは大きい。一方、図 4.6.12 の近似直線から 111.5mm/h に相当する超過確率を読むと 0.3%程度であるから、確率年としては約 300 年相当となる。また、菊川牧之原の最大時間雨量 98mm/h は、静岡の最大値と同様に超過確率 1.25%であるが、観測値に対応する超過確率の予測値を近似直線から読むと約 2%となり、確率年としては約 50 年相当を示す。

このように対数正規分布から外れる場合、予測値は過小あるいは過大となる結果が得られる。とくに観測値が最大値を更新する場合で、その値が図上の近似直線よりも上側にプロットされる時、確率年対応の予測値は、観測結果よりも小さくなるため注意が必要である。

(ii) 年最大累加雨量

図 4.6.13 に各観測所資料から求めた年最大累加雨量の超過確率の分布を示す。図 4.6.12 同様に図中の各観測所の近似直線は、最小二乗法により求めた。近似直線からのズレを視覚的に見れば、図 4.6.12 の年最大時間雨量の場合よりも大きい。とくに大きなズレを示すのは、川根本町、井川で、降雨量 150mm 以下と 200mm から 400mm 区間の違いが目立つ。白糸、静岡、梅ヶ島、菊川牧之原は概して良好に直線状に並ぶ。

観測所のうち最も大きな年最大累加雨量は、井川 1,027mm である。第 1 位であっても観測期間 40 年であるため、ヘーズンプロットの超過確率は 1.25%（確率年：80 年）となり、近似直線から得られる予測値は約 830mm と約 200mm 過小の推定値となる。しかし、近似直線から 1,027mm 相当の超過確率を読むと 0.2% 程度であるから、確率年としては約 500 年相当となる。

また、川根本町の最大累加雨量 769.5mm も観測値対応の超過確率は約 0.3%となり、その確率年としては約 300 年に相当する。一方、梅ヶ島の年最大累加雨量 709mm は、近似直線の下位にあり超過確率は約 3%，すなわち確率年は約 30 年相当を示すことになる。梅ヶ島では、図 4.6.13 の数値表に見るように、確率年が 50 年以上では 732mm 以上の予測値が与えられ、観測値の最大に比べ遙かに大きな値が示されることがわかる。

年最大時間雨量の場合と同じように、観測値が対数正規分布から外れる場合、予測値は過小あるいは過大となる結果が得られるので留意する必要がある。とりわけ、最大値が更新されるような場合は、対数正規分布から外れることがあり、予測値よりも相当程度に大きな降雨があることを認識しておく必要がある。

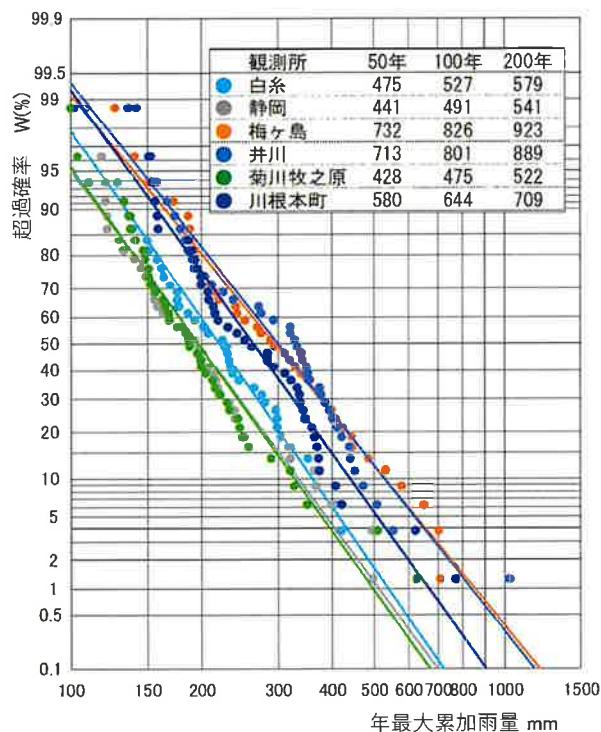


図 4.6.13 静岡県中部域アメダス観測所における年最大累加雨量の超過確率

4. 6. 4 おわりに

近年、温暖化現象がもたらす局地的な集中豪雨が過去に経験の無いような強雨・大雨をもたらしている。平成30年7月に岐阜県に降った大雨も累加雨量になると、過去に長良川を決壊させた降雨よりも大きかった。このような災害をもたらす豪雨について、近未来を対象にその規模や発生度合を調べておくことは、今後の治山・砂防における効果的な対策工の立案に有効と推測される。この観点でアメダス気象観測所の過去約40年にわたる時間雨量記録を用い、年最大時間雨量と年最大累加雨量を整理しその規模と発生頻度の推移を調べ、変化に関する実態把握を試みた。その結果は、以下のようにまとめられる。

- (1) 平成30年7月に岐阜県を襲った降雨の白鳥と八幡観測所における累加値は、観測期間中第1位で1976年に長良川の右岸堤防道路を決壊させた豪雨より大きかった。また降雨継続時間は、観測期間で2位と4位で過去において最大クラスのものといえる。
- (2) 静岡県中部域における過去40年間の年最大時間雨量は、50mm/hをほぼ平均として、80mm/h超が7回、100mm/h超が1回を記録されるが、その推移は周期的あるいは突然で時系列的傾向は見られない。また、50mm/hを超過する回数は年間1回程度、30mm/hは年間約3回であるが、超過回数が9回となる突出した観測所もあった。したがって、強雨の発現に関し時系列的な傾向は見られないと判断される。
- (3) 年最大累加雨量は、観測年の推移とともに変化する傾向はみられず、ランダムであるといえる。また、累加雨量400mm以上の大雨の発現回数も、時系列な傾向は見られず、400mm超過は前触れなく起きている。
- (4) 年最大時間雨量と年最大累加雨量ともに対数正規分布から外れる場合、確率年に対応する予測雨量値は過小あるいは过大となる結果が得られる。とくに、観測値がそれまでの最大値を更新する場合で、その値が図上の近似直線よりも上側にプロットされる時、確率年に対応する予測雨量値は、観測結果よりも小さくなるため注意が必要である。

<引用文献>

- 荒木正夫・椿東一郎（1962）：水理学演習下巻、森北出版、p.334
 木村正信（2010）：里山域での土砂災害の回避と残存危険度、砂防学会誌、63(3), pp. 1 - 2
 国土交通省:水文水質データベース、www1.river.go.jp/, 参照 2018-12-07, 2015
 産業技術総合研究所地質調査総合センター：地質図 Navi, <https://gbank.gsj.jp/geonavi/>, 参照 2018-12-07, 2013
 静岡気象台（2018）：静岡県の気象特性、<https://www.jma-net.go.jp/shizuoka/tokusei.html>

4.7 豪雪地帯における積雪環境の変動と地すべり発生の実態（松浦純生）

4.7.1 はじめに

日本はユーラシア大陸の東縁に位置し、暖温帶多雪地帯に属することから、地球温暖化が進行すると降雨以上に降雪が大きな影響を受けるといわれている。

さまざまな研究機関から発表されている気候変動モデルを使った将来予測でも、12月から3月までの日本海側地方の寒候期における降水量は、大幅に減少するとされている¹⁾。これは、冬期間のシベリア大陸からの季節風が弱まるためで、降雪量の減少により、最深積雪深は大幅に減少する。このため、積雪期間は短くなるとともに、最深積雪深のピークも約1ヶ月程度も早まるとされる。

このような積雪環境の変化は、地すべりなどの斜面変動の発生時期や規模、種類などに大きな影響を及ぼすと考えられる。したがって、今後の減災・防災対策を推進するにあたっては、降雨のみならず積雪に関連した斜面変動についても、地球温暖化適応策の一環として、より積極的に取り組む必要があろう。

4.7.2 過去30余年における積雪環境の変動

積雪地帯における積雪環境の変動を明らかにするため、国立研究開発法人森林総合研究所が日本海に面した中山間地帯で観測しているデータを用いて解析を行った。観測地点は、新潟県上越市の長野県との県境に近い標高567mの地点で（以下、伏野観測所）（図4.7.1）、1987年12月から積雪深などの積雪環境を含む年にわたる自動観測を行っている。今回は伏野観測所における1987年から2021年までの34年間にわたる観測データについて、積雪環境を中心とした簡単な統計解析を実施した。



図 4.7.1 融雪末期の伏野観測所
(新潟県上越市安塚区伏野峠地区)

（当該地域は新第三紀の脆弱な堆積岩が厚く堆積し、地すべり多発地帯となっている。一方、冬期間には多量の雪が降り、深い積雪層に覆われる。）

年単位で気象現象の統計処理を行なう際に最も問題となるのが年界の設定である。気象庁の統計は1~12月となっているが、積雪地帯の1月は真冬で降水量も多い。したがって、1月に年界を設定すると、積雪環境の解析には不適である。このため、降水量のデータを用いて最も妥当な年界を求めたところ、6月1日を年界と設定した場合に各年の降水量の標準偏差が最も小さくなかった。このため、6月1日から翌年5月31日までを一観測年と設定した。

一方、気象庁では積雪層が形成された後、消雪に至る期間を積雪期間と定義している。また、観測点における積雪が30日以上継続した状態のことを長期積雪（根雪）という。ただし、積雪が10日以上継続した場合、5日間以内の無積雪期間があっても、次の10日以上にわたって積雪が継続した場合は、積雪が継続しているものとみなす。

観測期間の34年間における積雪深の変化を図4.7.2に示す。地表面に形成される積雪層は各年によって大きく変動することがわかる。日本海側の中山間地に多量の降雪をもたらす要因としては、気団の変質によるところが大きい。したがって、積雪環境はシベリア高気圧の規模や日本海の海水面温度、偏西風の蛇行などの複雑な要因によって大きく左右される。

観測期間中に最も早く積雪が観測されたのは88/89（1988~1989年）観測年の10月28日であ

り、平均して11月中～下旬頃には積雪を記録した（表4.7.1）。通常、積雪期間初期に地表面に積雪が形成されても短期間で消失することが多く、その後の気温低下と降雪でやがて根雪となる。

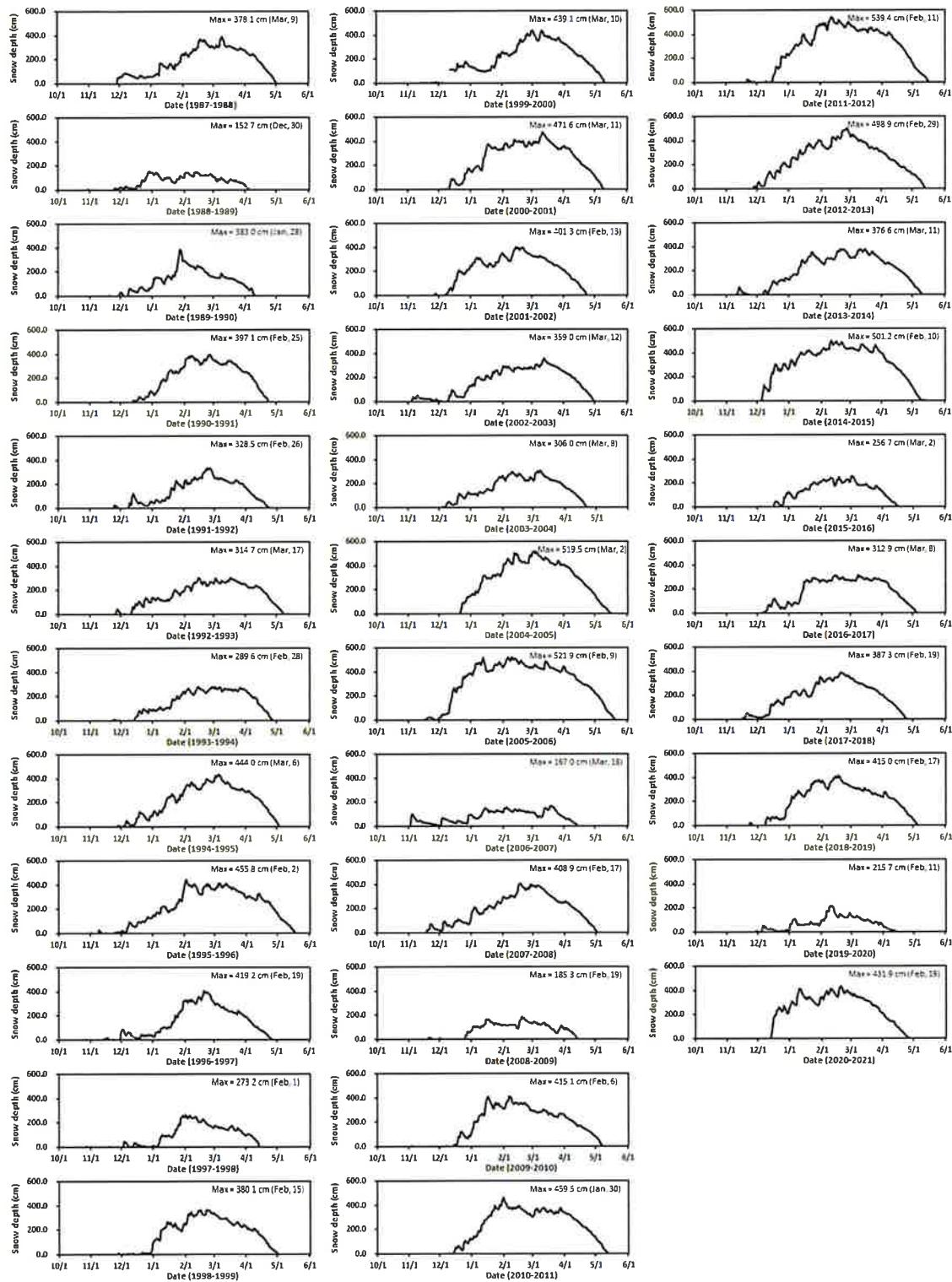


図 4.7.2 全観測期間（1987～2021）における積雪深の変動

表 4.7.1 全観測期間（1987～2021）における積雪環境

観測年	積雪期間			長期積雪期間			積雪深		積雪総量 (m·d)
	開始日	終了日	日数	開始日	終了日	日数	最大(cm)	生起日	
87/88	11/29/87	05/01/88	154	11/29/87	05/01/88	154	387.1	03/09/88	295.4
88/89	10/28/88	04/04/89	158	11/24/88	04/04/89	131	152.7	12/30/88	108.3
89/90	11/19/89	04/18/90	150	12/08/89	04/11/90	124	383.0	01/28/90	183.4
90/91	11/21/90	05/03/91	163	12/12/90	04/22/91	131	397.1	02/25/91	297.3
91/92	11/24/91	04/23/92	151	12/09/91	04/23/92	136	328.5	02/26/92	223.7
92/93	11/02/92	05/09/93	188	12/11/92	05/09/93	149	314.7	03/17/93	293.4
93/94	11/22/93	04/29/94	158	12/14/93	04/29/94	136	289.6	02/28/94	252.7
94/95	11/22/94	05/05/95	164	11/26/94	05/05/95	160	444.0	03/06/95	360.8
95/96	11/01/95	05/20/96	201	11/25/95	05/20/96	177	455.8	02/02/96	432.0
96/97	11/13/96	04/29/97	167	11/29/96	04/29/97	151	419.2	02/19/97	274.4
97/98	10/31/97	04/15/98	166	12/12/97	04/15/98	124	273.2	02/01/98	165.3
98/99	11/18/98	05/04/99	167	12/20/98	05/04/99	135	380.1	02/15/99	299.3
99/00	12/08/99	05/10/00	154	12/12/99	05/10/00	150	439.1	03/10/00	350.4
00/01	12/04/00	05/09/01	156	12/11/00	05/09/01	149	471.6	03/11/01	404.3
01/02	11/27/01	04/22/02	146	12/07/01	04/22/02	136	401.3	02/13/02	329.9
02/03	11/04/02	04/29/03	176	12/09/02	04/29/03	141	359.0	03/12/03	296.0
03/04	11/22/03	04/24/04	154	12/07/03	04/22/04	137	306.0	03/08/04	238.3
04/05	12/21/04	05/16/05	146	12/21/04	05/16/05	146	519.5	03/02/05	453.9
05/06	11/16/05	05/19/06	184	11/30/05	05/19/06	170	521.9	02/09/06	590.4
06/07	11/02/06	04/14/07	163	12/03/06	04/14/07	132	167.0	03/18/07	134.9
07/08	11/18/07	05/02/08	166	11/18/07	05/02/08	166	408.9	02/17/08	333.3
08/09	11/19/08	04/13/09	145	12/23/08	04/13/09	111	185.3	02/19/09	120.0
09/10	11/03/09	05/06/10	184	12/14/09	05/06/10	143	415.1	02/06/10	339.6
10/11	12/10/10	05/12/11	153	12/15/10	05/12/11	148	459.5	01/30/11	391.4
11/12	11/21/11	05/16/12	177	12/16/11	05/16/12	152	539.4	02/11/12	516.9
12/13	11/27/12	05/13/13	167	11/27/12	05/13/13	167	498.9	02/26/13	435.4
13/14	11/11/13	05/09/14	179	12/07/13	05/09/14	153	376.6	03/11/14	362.4
14/15	12/05/14	05/12/15	158	12/05/14	05/12/15	158	501.2	02/10/15	513.1
15/16	12/04/15	04/16/16	134	12/17/15	04/16/16	121	256.7	03/02/16	181.1
16/17	12/06/16	05/04/17	149	12/06/16	05/04/17	149	312.9	03/08/17	288.7
17/18	11/16/17	04/24/18	159	11/16/17	04/24/18	159	387.3	02/19/18	315.8
18/19	11/23/18	05/04/19	162	12/07/18	05/04/19	148	415.0	02/17/19	348.6
19/20	11/29/19	04/14/20	137	12/04/19	04/14/20	132	215.7	02/11/20	101.5
20/21	12/13/20	04/27/21	135	12/13/20	04/27/21	135	431.9	02/19/21	366.6
最小(早)	10/28/88	04/04/89	134	11/16/17	04/04/89	111	152.7	12/30	102
最大(遅)	12/21/04	05/20/96	201	12/23/08	05/20/96	177	539.4	3/18	590
平均	11/21	5/1	161	12/7	4/30	144	376.9	2/21	312
標準偏差	13.4	11.4	15.0	8.9	11.8	14.7	100.6	16.5	117.1

長期積雪期間（根雪期間）の開始日は平均して12月7日となり、最も早く記録したのは少雪年である17/18観測年の11月16日で、最も遅かったのは08/09観測年の12月23日となり、その差は1ヶ月以上となった。

最も長い長期積雪期間を記録したのは95/96観測年で177日間となった。本観測年は11月25日に積雪が記録されてから5月20日の消雪に至るまで、約6ヶ月近くにわたり積雪層が維持されることになる。これに対し、長期積雪期間が最も短かったのが08/09観測年で111日であり、66日の差があった。平均すると伏野観測所では144日間にわたって積雪層に覆われることになる。長期積雪期間日数は、積雪層を形成する主要な要因である冬期間の降水量と気温、さらにその結果生じた積雪層を融かす要因である日射量や気温などによって支配される。

過去34年間における日平均最大積雪深は11/12観測年の2月11日に539.4cmを記録し、最小値は88/89観測年の152.7cmとなった。一方、全観測期間における日平均最大積雪深は376.9cmとなっている。2000年代以降に積雪深の最大値が大きくなるが、それと同時に少雪年と多雪年の振れ幅が大きくなる傾向がみられる。

積雪層がもつ諸性質は、斜面変動に大きな影響を及ぼすと考えられる。最も大きな影響を及ぼすと考えられるのが、降水を地表面に積雪層として貯留する機能であろう。豪雪地帯では3~5mの積雪を観測することが珍しくない。これは融かして水量に換算すると、1,000~2,000mmに相当する。これが融雪期に毎日のように地表面に流出することから、地すべりなどの斜面変動を引き起こす。さらに、前述の水量を地表面にかかる荷重とすると10~20kN/m²に相当する。意外に大きい積雪荷重はすべり面や地表面の傾斜と関係し、斜面の安定性に大きな影響を与える。そのほか積雪層自身がもつ、せん断抵抗力や圧縮強さなどの力学的性質も影響を及ぼすであろう。このように、脆弱な地質条件をもつ積雪地帯では、雪と斜面変動を考える上で、積雪期間や積雪深、積雪水量などの積雪環境を把握することが欠かせない。

さらに、積雪期間における日平均積雪深を積算した積雪総量(m·d)を求めた。本来であれば、降水が地表面に貯留されている積雪水量のデータを用いた方が良いが、山間地での積雪水量の観測は難しく欠測が多いため、今回は積雪深のデータを用いた。

その結果、最も積雪総量が多くなったのは05/06の590.4で、2006年以降では3回も発現し、全体的に平均値を押し上げる結果となった。一方、最も少なかったのが、19/20観測年の101.5で、日平均最大積雪深が最も小さかった88/89よりも少ない結果となった。つまり、19/20観測年はこの30~40年でも記録的な少雪年であったことがわかる。この期間には、後述する最寒期である2月にも地すべりが発生した。

全観測期間を約11年間の3区間に分割し、それぞれの区間の平均値と標準偏差を求めた(図4.7.3)。その結果、87/98よりも次の期間の99/09が平均積雪総量は多くなり、さらに10/21の期間でもやや増加する傾向がみられた。しかし、少雪と多雪の振れ幅は99/09が最も大きくなつた。これは全期間内で最大値を記録した05/06の後に、歴代3,4位となる少雪年の06/07および08/09が出現したことによる。続く、09/21も多雪年と少雪年の差が大きくなる傾向がみられた。

全観測期間における積雪深の分布を調べてみると、積雪深のピークはほとんどが2~3月中に出現し、とくに2月後半から3月前半に集中する。積雪水量は最大積雪深よりもやや遅れて出現することが多いため、融雪期間は3月前半以降となる場合が多い。全観測期間中、最も最大積雪深の出現が早かったのが、88/89観測年で、12月30日に最大積雪深を記録した。これは極めて異常な現象と考えられる。本観測年における一連の積雪深の変化を見ると、分散型と言われる積雪深の形態に分類で

きる。このタイプは暖冬年や少雪地帯でみられるとされ²⁾、平均最大積雪深が357cmにも達する山間地の多雪地帯において、88/89観測年は極めて特異な少雪年と言うことができよう。この観測年には12月1日、1月5日、さらに1月6日に周辺の安塚区、牧区、大島区で地すべりが発生した。さらに、全国的に暖冬少雪年となった06/07にも2月に福島県で大規模な地すべりが発生した。このように、少雪年では最寒期でも地すべりが発生するリスクがある。

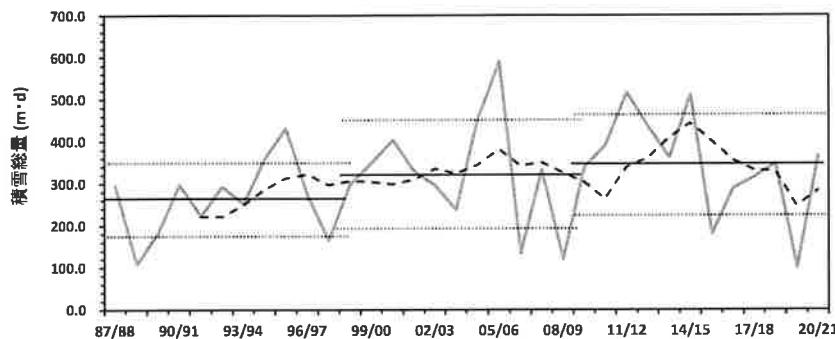


図 4.7.3 全観測期間における積雪総量の変化と3期間における平均と標準偏差

4.7.3 少雪年の最寒期における地すべり

2020（令和2）年2月19日に、新潟県妙高市下平丸花立地区で地すべりが発生した。規模は幅約90m、長さ約270mで斜面末端にある古宇座川を閉塞した（図4.7.4）。地質は新第三系鮮新統の富倉層の泥岩が主体でスレーキングを起こしやすく、周辺地域では古くから多数の地すべりが発生し、古宇座川の両岸斜面には切れ目なく地すべり地形が密集している。今回発生した地すべりは古宇座川左岸斜面で、地質構造的には流れ盤構造になっている。

花立地すべりは伏野観測所から西南西に約16.5km離れ、標高約400mとなることから、伏野観測所での積雪環境や間隙水圧のデータを参考とした。19/20観測年は記録的な少雪で、伏野観測所でも2月初旬に1m前後の雪しか観測されていない（図4.7.5）。伏野観測所では2月15日から融雪が進み2月17日には雨も降ったことから、17日の24時間地表面到達水量は100mm以上に達している。このため、間隙水圧も約2kPa上昇した。

花立地すべりは2月19日の08:30に確認されたとなっているが、伏野観測所のデータから推察すると、実際はそれより前から活動していた可能性が高い。これまでの研究によって、積雪地帯の地すべりは複雑な挙動を示すことが多く、積雪期以前から活動する事例や積雪期でもゆっくりと移動することが報告されている³⁾。

積雪層に外力が加わる場合、その働き方によって粉粒体、粘性体、弾性体、塑性体の性質が現れる

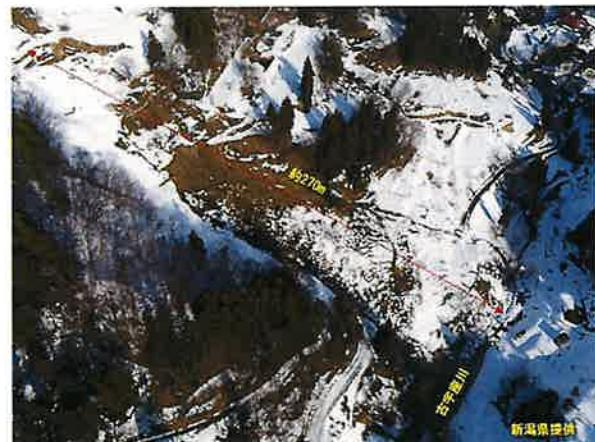


図 4.7.4 最寒期の2月に発生した地すべり
(新潟県妙高市下平丸花立地区)

（当該地域はスレーキングを起こしやすい泥岩地帯で、地すべり密集地帯となっている。）

（図4.7.5）。伏野観測所では2月15日から融雪が進み2月17日には雨も降ったことから、17日の24時間地表面到達水量は100mm以上に達している。このため、間隙水圧も約2kPa上昇した。

特徴をもつ。粉粒体の時は個別の雪粒子として浮遊・跳躍・転動などを起こし、容易に削剥と再堆積を繰り返す。一方、繰り返しの降雪により積雪層となった場合は、集合体として外力に対し、さまざまな挙動を示す。例えば、速いが小さい力に対しては弾性体のように挙動するものの、速度が遅く大きな応力が働くと粘性的に振る舞うことがある。

とくに、緩速で変位する地すべりは、斜面地盤に開口亀裂などが発生したとしても、上位にある積雪層は地盤の変位速度が遅いので粘性的な挙動をする。したがって積雪層に亀裂などが現れにくい。このことは、実際は地すべりが変位しているにもかかわらず、積雪表層に変状が出現しないか軽微な変化にとどまることを意味し、地すべり発生の兆候を見逃してしまうことになる。今回の花立地すべりも積雪層の発達は貧弱なもの、同様な現象があった可能性が考えられる。したがって、積雪地帯では地すべり発生の兆候をいち早く検知する手法の開発が望まれる。

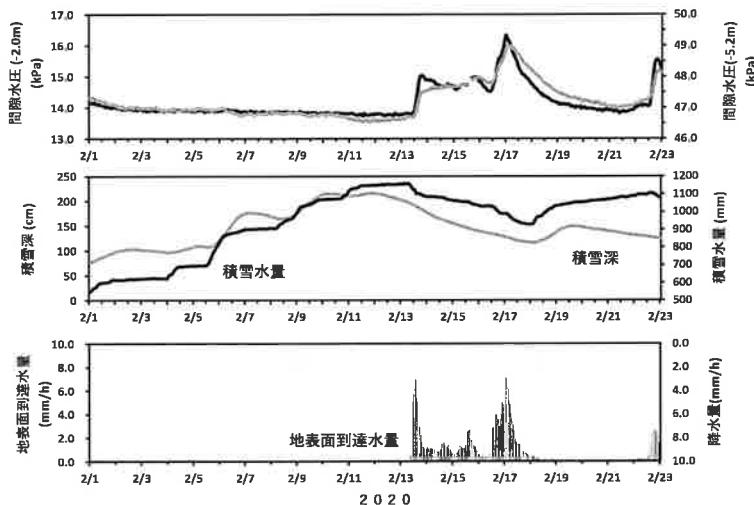


図 4.7.5 花立地すべり発生時における伏野観測所での間隙水圧等の観測結果

4.7.4 融雪初期に長距離移動した地すべり

2021（令和3）年3月3日の深夜24:00頃（東北電力による最初の停電情報は3月4日の00:05）に、新潟県糸魚川市来海沢（くるみさわ）地区で地すべりが発生し、住家など6棟が全半壊などの被害を受けた（図4.7.6）。点在する大きな塊は巨礫ではなく、ブロック化した積雪層である。

発生源の規模は幅70～80m、長さ約200m、深さ約10m程度と推定されるが、地すべり移動体は著しく流動化するとともに、ブロック化した積雪層や渓流上の土砂堆積物を巻き込んで約1.1kmも流下した（図4.7.7）。

流下経路上には山腹土留工やブロック積谷止工が施工されていたものの、



図 4.7.6 著しく流動化した末端の状況
(新潟県糸魚川市来海沢地区)

（巨礫に見える塊は、積雪層がブロック化して土砂とともに流下した雪塊である。著しく泥濘化し、歩行することは困難な状態。）

規模が大きかったため、すべてが破壊された（図4.7.8）。やはり規模の大きい地すべりや、著しく流動化した雪泥流については、このような構造物に限界がある。発生域の基盤地質は新第三紀層の泥岩を主体とする根知層で、その上位には過去の崩壊などによる崩積土が堆積していたと推定される。頭部滑落崖の後背斜面は、根知層の上位に堆積する安山岩～玄武岩の火山岩である海川層の急崖となっている。海川層は鮮新世の海底火山の堆積物であることから、いわゆるキャップロック構造となり、雨水や融雪水を貯留する役割を果たしたと考えられる。

発生当時には地すべり地周辺に2～3mの積雪層が堆積していたと推定される。ただし、現場での調査によると地すべり地内部ではさらに厚く雪が積もっていた。今冬は12月中旬、下旬、1月初旬に多量の雪が降り、記録的な少雪だった2020年と比較すると、20/21観測年は平年以上の積雪環境であったと言えよう。

このため、花立地すべりと同様に、東に約47km離れた伏野観測所の値を参考とした。なお、冠頭部の標高は約530mである。

2月に入って融雪が進行していると思われるものの、積雪水量はほとんど変わらず、多量の融雪が発生しているとは言いがたい。なお、積雪水量が一時的に変動しているのは、傾斜地での観測で良く見られる現象で、一時的に融雪水が積雪底面とセンサの間に浸透したことによるものと考えられる。



図 4.7.7 長距離にわたって流下した地すべり
(新潟県糸魚川市来海沢地区)



図 4.7.8 破壊され雪塊とともに押し出された
ブロック積堰堤

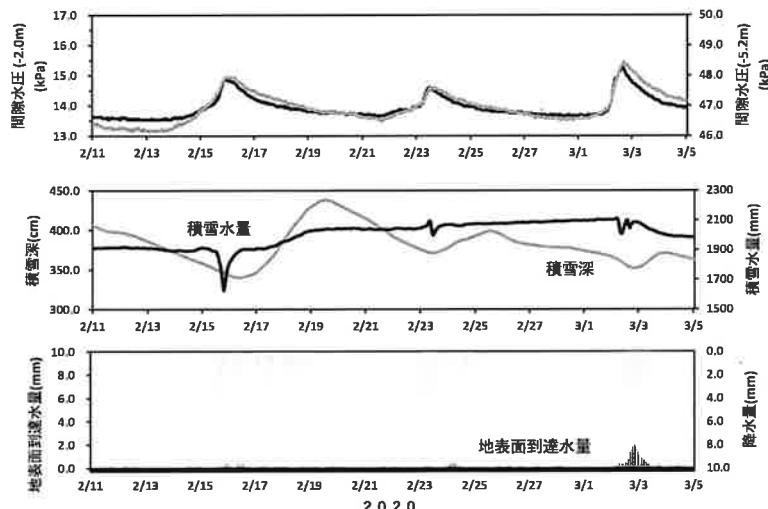


図 4.7.9 来海沢地すべり発生時における伏野観測所での間隙水圧等の観測結果

間隙水圧の上昇量も 2kPa 程度であった。ただし、当時の気象をアメダス糸魚川のデータを使って調べてみると、3月1日から3月2日の午前中にかけて南からの強風が観測されていた。とくに、3月2日の07:30には最大瞬間風速 23.5m を記録している。その時の気温は 17.3°C であった。雪は日射や大気との熱交換である顕熱・潜熱などによって解けるが、顕熱・潜熱は気温と風速に依存する。さらに、冠頭部にはスギの人工林が成立していた。このため、南の暖かい強風がスギ林の林冠で捕捉され林内で乱流が発生し、従来の理論値以上に積雪面との熱交換が活発に行われた可能性が高い。このような事例は伏野観測所でも報告されている⁴⁾。したがって、強風による融雪が直接の誘因になったと考えられる。

この他、積雪荷重の可能性もある。地すべりの後背斜面は急崖となっており、アバランチシートが発達していた。このため、頻繁に雪崩が発生し、デブリは斜面下部の林内に捕捉され多量に貯留していたと考えられる。これが頭部載荷になった可能性もある。

また、一般に斜面地盤はさまざまな要因によって現状安全率が低下する。斜面内部での侵食や風化、さらに降雨や融雪水、地震などの繰り返しの外力、河川侵食などによる地形変化などである。19/20 は記録的な少雪で、冬期間においても断続的に融雪水の供給があり、これが遠因になった可能性も排除できない。

4.7.5 おわりに

積雪地帯における観測データを分析すると、この20年来は多雪傾向となっているものの、同時に寒冬多雪と暖冬少雪の差が著しく拡大していることがわかった。その差は大きく、総降雪量では5倍以上の較差が生じることもある。したがって、融雪水の地表面への供給プロセスや強度、さらに総量にも大きな変化となり、地すべりなどの斜面変動のタイミングや規模、形態などにも影響すると考えられる。

今後、温暖化が進行するにともない、このような較差は拡大する可能性が高い。このため、現在の積雪環境をもとに気候変動モデルを用いて外挿し、将来の積雪環境にも対応可能なハードおよびソフト対策を構築する必要がある。とくにソフト対策には精度の高い融雪予測技術の開発が望まれる。2021年3月に糸魚川市で発生した地すべりは、強風による融雪が主要な誘因になった可能性が高い。したがって、強風による融雪現象を明らかにすることで、より信頼性の高い斜面変動予測指標を確立する必要がある。

本報告書の作成にあたっては、国立研究開発法人森林総合研究所から、貴重な積雪環境に関するデータを提供いただいた。記して感謝申し上げます。

<参考文献>

- 1)気象庁(2017)：温暖化予測情報，9，41pp.
- 2)伊藤 駿(1983)：日本における積雪深の形態分類とその特徴について，雪氷，45(2)，57-63.
- 3)佐藤壽則，白石秀一，伊藤俊方(2004)：積雪期における新潟県内の第三紀層地すべりの運動特性，日本地すべり学会誌，41(1)，37-42.
- 4) 松浦純生，竹内美次，浅野志穂，落合博貴(1996)：強風時における山地斜面の融雪特性，水文・水資源学会誌，9(1)，48-56.

4.8 流木災害の現状

(1) 流木災害の実態

既往文献による主な流木災害事例を整理し表 4.8.1～表 4.8.3 に示す。

表 4.8.1 近年の流木災害の実態 (1/3)

年月	災害名 ・降雨状況	場所・ 河川名	原因	流木量	流木災害 の特徴	被害	出 典
S13.7 (1983)	阪神大水害_ 梅雨前線 (461.8mm, 7/ 3~5, 神戸)	兵庫県 (神戸)	山腹崩壊, 土石流発生 に伴う立木 の流出		土砂, 流木の流 出甚だしく, 流 木が暗渠口を閉 塞するなど被害 を拡大 (市街地 の被害顕著)	死者・行方 不明者 695 名 家屋被害 119,895 棟	1 2
S42 7 (1967)	昭和 42 年 7 月の大水害_ 台風 7 号 (319.4mm/2 4hr, 神戸)	兵庫県 (神戸)	山腹崩壊, 土石流発生 に伴う立木 の流出		流木が中小河川 の暗渠を閉塞 し, 浸水被害を 拡大	死者・行方 不明者 98 名 家屋被害 38,305 棟	1 2
S57. 7 (1982)	昭和 57 年 7 月長崎豪雨 梅雨前線 (447mm/7hr, 7/23, 24, 長 崎市)	長崎県	山腹崩壊, 土石流発生 に伴う立木 の流出	47,000 $m^3/0.95$ 3km ² ...3 渓 流	流木, 河川の暗 渠部や水路を閉 塞 渓流内に流木に よる天然ダム形 成有	死者・行方 不明者 299 名 住家被害 39,755 棟	4 5
S61 7 (1986)	昭和 61 年京 都府南部災害 (372mm/2 日, 7/21, 22)	京都府	山腹崩壊, 土石流発生 に伴う立木 の流出		流木が暗渠やボ ックスカルバー トを閉塞したこと により土石流 が氾濫, 道路, 橋梁等が損壊・ 流出	軽傷者 2 名 住家被害 44 棟, 非住家 被害 135 棟, 浸水被 害 2,633 棟	6 7
H2.7 (1990)	平成 2 年 7 月 豪雨_梅雨前 線の停滞 (708mm, 6/28~7/3, 阿 蘇乙姫)	熊本一 宮町古 恵川	山腹崩壊, 土石流発生 に伴う立木 の流出	13,000 m^3	流木が橋梁を閉 塞, 後続の泥流 と流木が市街地 に氾濫, 巨礫を 含まない泥流と 流木による災害	死者 11 名 住家被害 144 棟 浸水被害 1,004 棟 (一の宮町)	8 9
H5.7 (1993)	平成 5 年台風 5 号 (274mm/7/23, 24 の連続雨 量)	広島県	山腹崩壊, 倒木の混在 した土石流 流下	4,000m ³	2 年前に発生し た風倒木を巻き 込んだ土石流が 流下	人的被害な し, 公共施 設, 人家, 耕 作地被害	10

※住家被害…住家被害のうち全壊, 半壊, 一部損壊の合計値

浸水被害…住家被害のうち床上浸水, 床下浸水の合計値

表 4.8.2 近年の流木灾害の実態 (2/3)

年月	災害名 ・降雨状況	場所・ 河川名	原因	流木量	流木灾害 の特徴	被害	出 典
H10.8 (1998)	平成 10 年 8 月末豪雨_記 録的な集中豪 雨 (6 日間降 雨 1,228mm(那 須))	那珂 川・阿 武隈川	山腹崩壊 (福島), 溪岸浸食に よる立木の 流出	8,000m ³ (那珂 川支流 余笠 川)	総合福祉施設を 土砂や流木が直 撃 (福島)。 流木で閉塞され た橋梁周辺での 洪水氾濫	死者 11 名(福 島) 床上浸水 1,105 棟 床下浸水 2,649 棟 橋梁破損	11
H11.9 (1999)	9.15 豪雨災害 (台風 16 号), 9/14~ 24 に渡る連続 的な豪雨	岐阜県 北部	山腹崩壊, 溪岸侵食, 土石流の流 下に伴う立 木の流出		幼齢人工林に多 くの崩壊が発生	死者・行方不 明者 8 名 住家半壊 26 棟 床上浸水 200 棟	12 13
H15.8 (2003)	平成 15 年台 風 10 号によ る北海道日高 豪雨災害 _358mm/day , 旭	北海道 沙流川 水系, 厚別川 水系	山腹崩壊, 河畔林から の流出, 倒 木等の再移 動	81,000 m ³ (額平 川流域), 57,100 m ³ (厚別 平川流 域)	山腹崩壊による 流木発生割合が 全体の約 6 割	死者・行方不 明者 11 名 住宅被害 51 棟, 浸水被害 567 棟橋梁 被害(15 箇 所)	14
H16.7 (2004)	平成 16 年 7 月 福井豪雨_局 地的短時間豪 雨 96mm/hr (美山)	足羽川	山腹崩壊お よび溪岸ま たは河岸の 侵食による 立木の流出	3,099m ³ (足羽 川流域)	溪岸および河岸 の横侵食により 発生した流木が 全体の約 9 割	死者・行方不 明者 5 名 住家被害 430 棟 浸水被害 13,726 棟	15 16
H16 7~10 (2004)	台風 10 ~ 23 号 _442mm 9/28,29, 西 条 市黒瀬ダム	新居浜 市, 西 条市	山腹崩壊, 土石流の流 下に伴う溪 岸侵食	1.9m ³ /1 00m ²	流木による直接 被害, 閉塞後の 氾濫による被害	死者・行方不 明者 29 名 住家被害 1,868 棟 浸水被害 10,667 棟	17 18
H17.9 (2005)	台風 14 号 1,321mm/3 日 間総雨量 (三 郷町神門)	宮崎県 耳川・ 五ヶ瀬 川等	山腹崩壊, 溪岸侵食, 土石流の流 下に伴う立 木の流出	8,850m ³ (九州電 力 6 ダ ム計)	流木が橋梁を開 塞し, 周辺で氾 濫	死者 13 名 住家被害 4,823 棟 浸水被害 4364 棟	20 21
H21.8 (2009)	平成 21 年台風 第 9 号災害 _89mm/hr	兵庫県 佐用町	山腹崩壊, 土石流の流 下に伴う溪 岸侵食	2,181 m ³	流木による橋梁 閉塞で橋脚が沈 下, 土石流およ び山腹崩壊, 風 倒木被害地の崩 壊による土砂, 流木の流出	死者・行方不 明者 22 名 負傷者 7 名 家屋被害 1,105 棟 浸水被害 1,828 棟	22

※住家被害...住家被害のうち全壊, 半壊, 一部損壊の合計値

浸水被害...住家被害のうち床上浸水, 床下浸水の合計値

表 4.8.3 近年の流木災害の実態 (3/3)

年月	災害名 ・降雨状況	場所・ 河川名	原因	流木量	流木災害 の特徴	被害	出 典
H23.9 (2011)	紀伊半島大水 害(台風 12 号)_123mm/h r	和歌山 県	斜面崩壊, 土石流の流 下に伴う立 木の流出	発生流 木量 11,143 $m^3/4.06$ km ² ,8 渓流	渓岸・渓床侵食 による発生流木 量多い	死者・行方不 明者 88 名 浸水被害 110ha(熊野 川下流域) 320ha(紀宝 町) (奈良・和歌 山・三重)	23 24
H24.7 (2012)	九州北部豪雨 7/3,7/11-14 _91.5mm/hr,4 86mm/24hr, 福岡県八女市 黒木	九州北 部	同時多発的 に発生した 山腹崩壊や 土石流によ る立木の流 出	3,000m ³ (砂防 ダム捕 捉量, 白 川・黒川 流域)	流木が橋梁を閉 塞し, 周辺及び 下流の市街地で 氾濫, 流木の衝 突による家屋の 破損	死者・行方不 明者 32 名 住家被害 769 棟 浸水被害 12,495 棟	25 21
H26.8 (2014)	平成 26 年 8 月豪雨 (福知 山豪雨災害) _357.5mm(8/ 15~17)	福知山	山腹崩壊, 渓岸侵食, 土石流の流 下に伴う立 木の流出		市街で甚大な浸 水被害	死者 1 名 家屋被害 4253 棟 床上・床下浸 水 4,500 棟 他	26
H26.8 (2014)	平成 26 年 8 月広島豪雨 _121mm/hr, 8/20, 安佐北 区	広島県	山腹崩壊, 渓岸侵食, 土石流の流 下に伴う立 木の流出	470m ³ (上山川)	流木の衝突によ る家屋の破損, 流路の閉塞 (流木は路地へ の流入, 平地へ の流入で停止)	死者 77 名 住家被害 585 棟 床上・床下浸 水 4,353 棟 他 (広島県)	27 28
H29.7	平成 29 年 7 月 九州北部豪雨 _169mm/hr (朝倉市)	朝倉市	大量の降雨 により同地 多発的で各 地に多数発 生した山腹 崩壊や土石 流による立 木の流出	210,377 m^3 ※10 河 川計	過去最大級の流 木災害, 流木に による橋梁・河川 の閉塞で大規模 な氾濫, また流 木の衝突による 家屋の破損	死者・行方 不明者 41 人, 住家被 害 1,411 戸, 浸水被 害 1,556 戸	29 30
H30.7	平成 30 年 7 月 豪雨_総降水 量 1,852.5mm(6/ 28~7/8, 高知 県 魚梁瀬)	四国, 広島	同時多発的 に山腹崩 壊, 土石流 が発生し, 立木が流木 化して流出		多量の流木によ る橋梁・河川の 閉塞で大規模な 氾濫, また流木 の衝突による家 屋の破損, 家屋 被害が多数発生	死者 237 人, 行方不明 8 人, 住家被 害 15,703 棟, 浸 水被 害 28,469 棟 1 道 2 府 28 県におよぶ 被害	31

※住家被害...住家被害のうち全壊, 半壊, 一部損壊の合計値

浸水被害...住家被害のうち床上浸水, 床下浸水の合計値

<近年の流木災害の実態に関する文献リスト>

- 1) 国土交通省 近畿地方整備局 兵庫県六甲砂防事務所 HP
- 2) 兵庫県 地域防災計画（風水害等対策計画） 平成29年修正 兵庫県防災会議
- 3) 平成30年度版防災白書 付属資料① 内閣府
- 4) 国土交通省 九州地方整備局 HP
- 5) 土石流発生に伴う流木の生産、流出事例と対策 水山高久 他、新砂防、Vol.38, No.1(138)昭和60.5
- 6) 京都府 山城広域振興局 HP
- 7) 土石流に伴う流木による災害とその防止軽減対策に関する考察 水原邦夫、水利科学 No.352 2016
- 8) 熊本県一の宮町における泥流・流木の氾濫・堆積特性と家屋の被害 石川他 土木技術資料34巻6号 p.40~45 1992年6月
- 9) 阿蘇地域土砂災害検討委員会 第1回委員会 討議資料 平成2年災害の概要 熊本県
- 10) 平成5年.土砂、風倒木流出災害復旧工事 広島県
- 11) 1998年8月栃木県余笠川災害で発生した流木の実態 南哲行ほか 砂防学会誌, Vol.536, No.4, p.44-21, 2000
- 12) 岐阜県における主な気象災害（1945年以降）岐阜地方気象台資料
- 13) 岐阜県公式HP
- 14) 平成15年台風10号北海道豪雨災害調査団報告書、土木学会水工学委員会, pp.1-181, 2004
- 15) 平成16年7月福井豪雨による被害状況について（第34報）内閣府 平成16年8月27日
- 16) 山間集落豪雨災害対策検討委員会報告書 福井県（平成17年3月）
- 17) 平成16年の土砂災害-災害と復旧の記録- 愛媛県
- 18) 平成16年愛媛県東予東部地域の土砂・流木災害における発生流木量についての考察
(財)砂防・地すべり技術センター 加藤誠章 他, 第55回平成18年度砂防学会研究発表会概要集 p.348, 349
- 19) 平成17年台風14号に伴う9月6日から7日にかけての大雨 広島県（宮島町、廿日市市）現地調査報告書 平成17年10月13日 広島地方気象台
- 20) 平成17年災害の記録（宮崎県災異誌第41号）
- 21) 出水時における流木の発生～平成24年7月の九州北部豪雨について～
2013年12月12日第4回流域圏シンポジウム 九州大学大学院工学研究院 矢野真一郎 他
- 22) ダム貯水池における流木流入災害の防止対策検討調査報告書 平成19年3月
林野庁森林整備部・国土交通省河川局 p.45, 46
- 23) 平成23年台風12号土砂災害における和歌山県那智川支流域の流木の発生と流出実態
第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 2016年9月 黒岩知恵 他
- 24) 国土交通省 近畿地方整備局 HP（災害写真ライブラリー）
- 25) 内閣府 防災情報 事例コード201201 2012年（平成24年）九州北部豪雨災害
- 26) 平成26年8月豪雨 災害の記録 平成27年3月 福知山市
- 27) 2014年8月広島土石流災害における流木の発生と流動・堆積に関する研究
第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 2016年9月 福岡尚樹 他

- 28) 内閣府 防災情報 事例コード 201402 2014 年（平成 26 年）8 月 19 日からの豪雨災害
- 29) 平成 29 年 7 月九州北部豪雨における流木被害 山口大学 赤松義久准教授
(公) 森林文化協会 年報「森林環境 2018」, 2018/03/15
- 30) 2017 年九州北部豪雨災害調査報告書 平成 30 年 3 月 京都大学防災研究所
- 31) 平成 30 年 7 月豪雨による被害状況等について 平成 31 年 1 月 9 日 17 時現在 内閣府

(2) 森林の蓄積と雨量に関する時系列資料

以下に、既往資料における森林の蓄積、土砂災害発生件数の推移についてのグラフを示す。

資料II-1 我が国の森林蓄積の推移



注1：各年とも3月31日現在の数値。

2：平成19(2007)年と平成24(2012)年は、都道府県において収穫表の見直し等精度向上を図っているため、単純には比較できない。

資料：林野庁「森林資源の現況」

図 4.8.1 我が国の森林蓄積の推移（出典：平成 29 年林業白書）

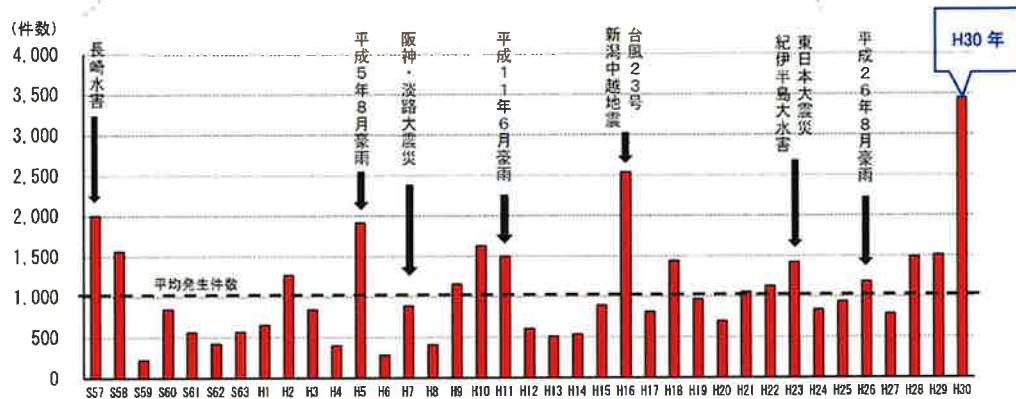


図 土砂災害発生件数の推移 (S57～H30)

(出典：平成 30 年 12 月 26 日 国土交通省 水管理・国土保全局砂防部 報道発表資料)

(3) 流木発生のメカニズム

流木の発生原因は、大きく分けると以下の3項目に区分される。

- ①山腹崩壊
- ②溪岸侵食・崩壊
- ③渓床に堆積した古い流木・倒木の再移動

表 4.8.4 流木の発生原因の形態

発生場所	流木の起源	流木の発生原因と形態	素因
発生区域	立木の流出	斜面崩壊の滑落に伴う立木の滑落	多量の降雨 崩壊の発生 火山噴火
		土石流発生に伴う立木の滑落	
		雪崩発生に伴う立木の滑落	
	倒木の発生	火山の噴火に伴う爆風による倒木の発生	
流下・堆積区域	立木の流出	土石流の流下に伴う渓岸・渓床侵食による立木の流出	渓岸・渓床侵食 侵食範囲に生育する立木 倒木の存在
		病害虫や台風等により発生した倒木等の流出	
	倒木等の流出	過去に流出して河床上に堆積したり、河床堆積物中に埋没していた流木の再移動	
		雪崩の流下に伴う倒木の下流への流出	
		火山噴火に伴う倒木の下流への流出	

(参照：石川芳治, 「渓流における流木の発生, 流下と災害」, 水利科学第38巻1号, 1994)

(4) 流木災害の特性

「平成 26 年度 流域山地災害等対策調査（流木災害対策手法検討調査）委託事業 報告書」によれば、流木災害の特性は以下の通り整理されている。

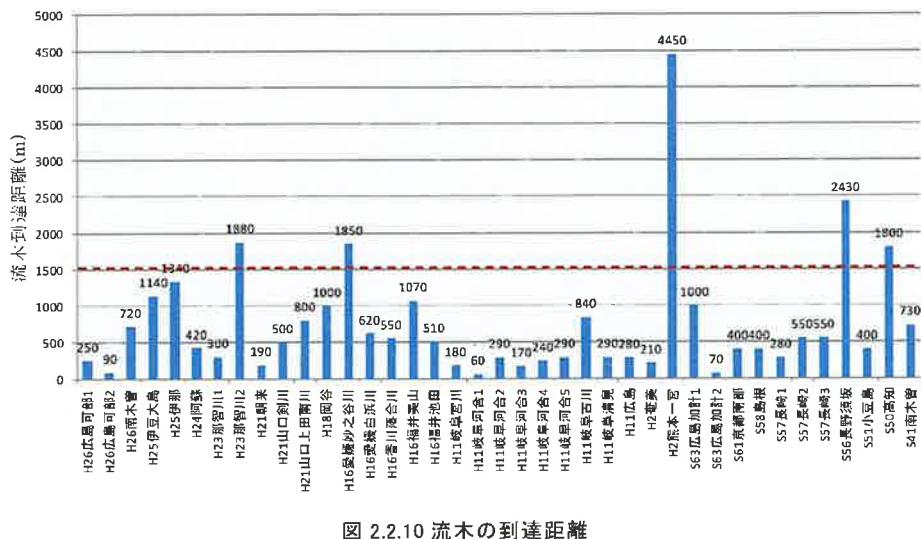
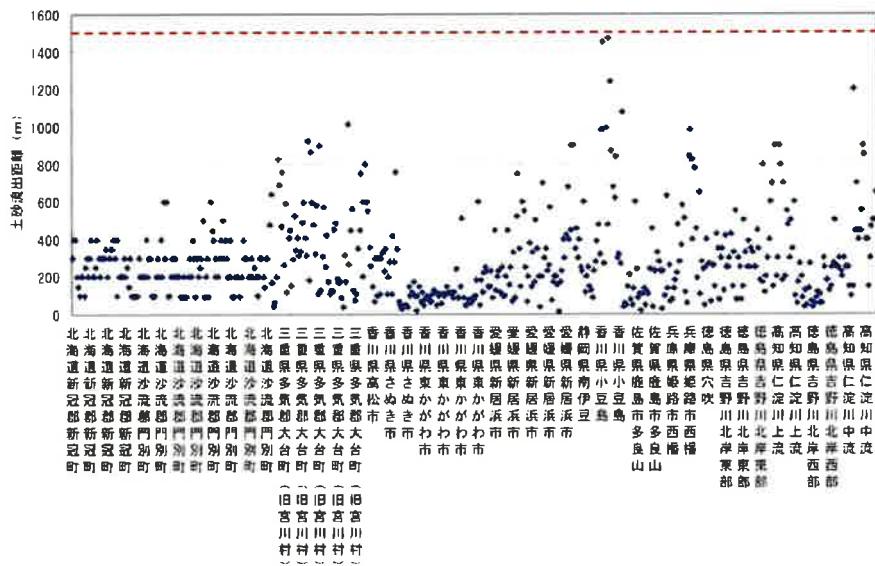


図 2.2.10 流木の到達距離



【参考】 図 2.2.11 溪流における土砂到達距離

(出典: 平成 17 年度山地災害危険地区危険度判定手法調査報告書、財団法人林業土木コンサルタンツ)

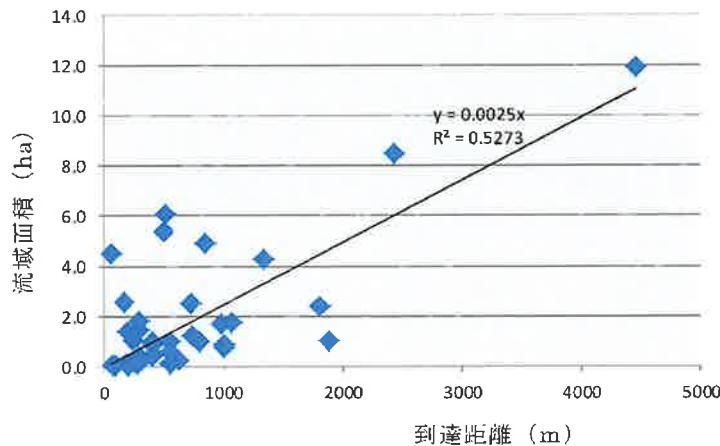


図 4.8.2 流木の到達距離と流域面積

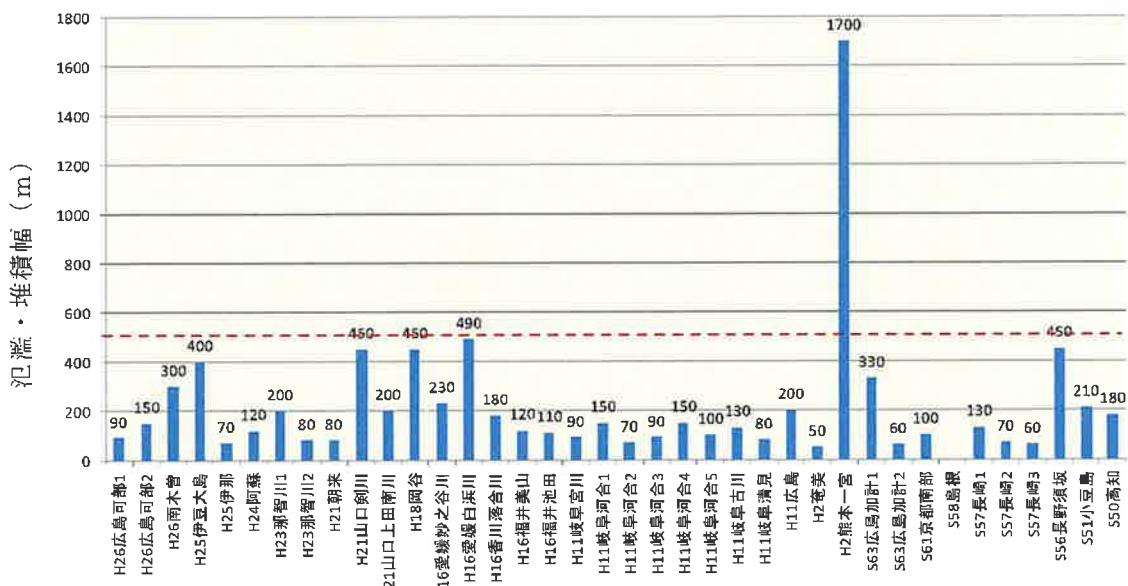


図 4.8.3 流木の汎濫・堆積幅

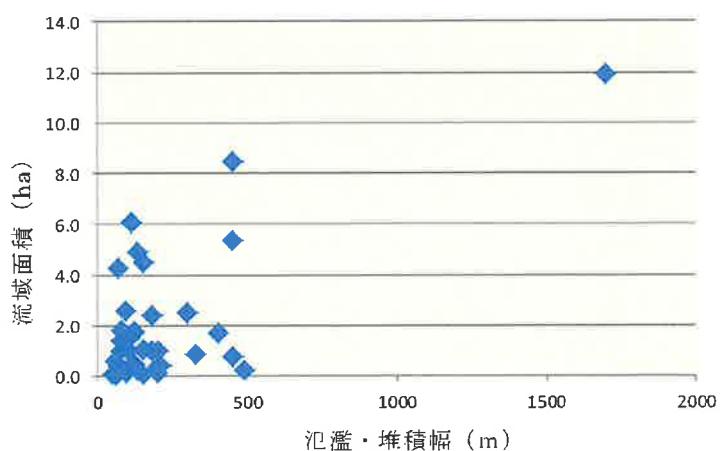


図 4.8.4 流木の汎濫・堆積幅と流域面積

(5) 流木対策（行政の対応）

- ・ H24. 3 気候変動に対応した森林の水土保全機能の向上方策検討調査（林野庁）
→H21～H23 の 3 カ年で、森林地域における気候変動による影響の類型化を行い今後の傾向を推定。治山事業に関連する気候変動要素のその影響を整理。モデル流域を設定してリスク評価の検討・分析を実施。評価手法を示し、治山事業における適応策の方向性、体系を整理。
- ・ H28. 4 流木災害対策の必要な森林を抽出する手法 手引書（案）（林野庁）
→流木災害対策が必要な箇所を効率的に把握する手法を取りまとめる目的で、レーザ・プロファイラデータを使用した流木発生危険箇所の抽出手法を示した。
- ・ H29. 11 「流木災害等に対する治山対策検討チーム」中間とりまとめ（林野庁）
→平成 29 年 7 月九州北部豪雨を踏まえた課題の抽出、事前防災・減災対策を講ずる箇所の選定、発生区域、流下区域、堆積区域での対策、その他について示した。
- ・ H30. 3 土石流・流木対策指針（林野庁）
→山地災害危険地区（崩壊土砂流出危険地区）等で土石流・流木対策を実施する際の調査、計画、設計、維持管理についての指針を示した。

4.9 土砂及び流木災害の現状と課題の整理（石川 芳治）

4.9.1 はじめに

最近、これまで経験されて来なかつたような希な豪雨による大規模な土石流・流木災害が頻発するようになって来ている。例えば、平成 25 年（2013）台風 26 号に伴う豪雨による伊豆大島大金沢における大規模な土石流・流木災害、平成 26 年（2014）8 月の集中豪雨による広島市での土石流・山腹崩壊災害、平成 29 年（2017）7 月の「九州北部豪雨」による福岡県、大分県における土石流・流木災害、平成 30 年（2018）7 月豪雨による西日本および中部地方の広い範囲にわたつた山腹崩壊・土石流災害により甚大な被害が発生している。今後地球温暖化の影響により、極端な気象現象が増加し、このような豪雨災害は増加することが予想されており、大規模な土石流・流木による災害への対策がますます重要となつてきている。一方で、豪雨や地震等により深層崩壊や地すべりが発生し、それに伴い、土砂ダム（河道閉塞）や土石流が発生し、二次災害の発生の危険が高まつた事例も発生している。このような深層崩壊による災害対策も重要なとなつてきている。

4.9.2 土砂災害の発生状況

最近の土砂災害の発生件数を図 4.9.1 に、また土砂災害による死者・行方不明者数を図 4.9.2 に示す。土砂災害の発生件数は平均的には年間 1,000 件前後で推移してきつていて、最近 3 年間はそれらを上回つておる、特に 2018 年は平年の約 3 倍にも達した。全体として最近は増加の傾向にある。一方、土砂災害による死者・行方不明者数は平均的には年間 30～40 名であるが、豪雨や地震等の発生の影響を受けて変化が激しい。通常ならば、治山・砂防施設の整備の進捗や、警戒避難体制の整備等の進捗により徐々に減少するはずであるが、全体としては横ばいか、最近ではやや増加の傾向にある。特に 2018 年は死者・行方不明者数が、最近の 30 年間では 2 番目の多さとなつた。このように最近、土砂災害は対策の進捗にもかかわらず、やや増加の傾向にあることが分かる。これは、特に、線状降水帯などにより、強い雨が同一地域に連続して降ることにより、斜面崩壊ならびに土石流が発生しやすくなつてゐるのが一因と考えられる。

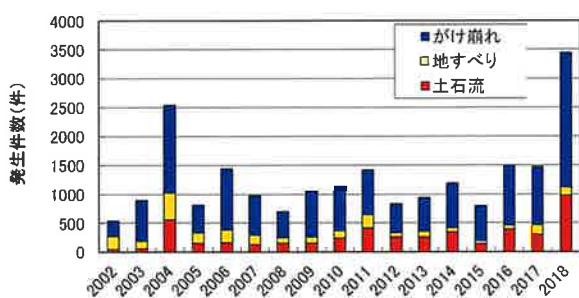


図 4.9.1 最近の土砂災害の発生件数

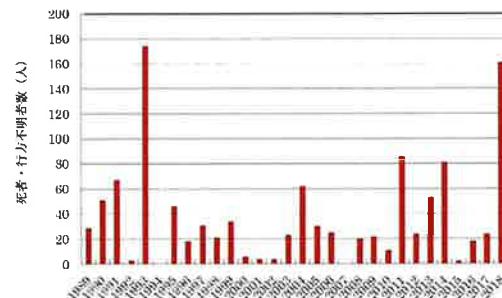


図 4.9.2 最近の土砂災害による死者・行方不明者数

※国土交通省の公表データを元に作成

4.9.3 最近の豪雨に起因する表層崩壊による土石流・流木災害とそれらの課題

最近、これまで経験されて来なかつたような大きな豪雨による大規模な土石流・流木災害が頻発するようになって来ている。例えば、平成25年(2013)台風26号に伴う豪雨による伊豆大島大金沢における大規模な土石流・流木災害、平成26年(2014)8月の集中豪雨による広島市での土石流・山腹崩壊災害、平成29年(2017)7月の「九州北部豪雨」による福岡県、大分県における土石流・流木災害、平成30年(2018)7月豪雨による西日本および中部地方の広い範囲にわたった山腹崩壊・土石流災害により甚大な被害が発生した。これらの大部分は山腹斜面の表層崩壊に起因する土石流や流木による災害であった。ここでは最近の豪雨に起因する表層崩壊による土石流・流木災害の現状と課題について述べる。

4.9.4 平成25年(2013)台風26号に伴う豪雨による伊豆大島大金沢における大規模な土石流・流木災害の実態¹⁾と課題

2013年台風26号により、伊豆大島では24時間雨量が800mmを超える豪雨に見舞われ、10月16日未明に東京都大島町に位置する大金沢では大規模な土石流が発生し、死者・行方不明者39人のぼる甚大な被害が発生した。伊豆大島における土砂災害の特徴としては、数百年超過確率を超える豪雨により伊豆大島の山腹に堆積していた比較的新しい降下火砕物(火山灰)の堆積層が表層崩壊を起こして土石流となつたことである。火山灰からなる細粒土砂が卓越する泥流型土石流であったために大きな速度で流下し、特に大金沢左支川の下流では斜面上を幅広く流下したために流下・氾濫範囲が広がり、下流にあつた集落を襲い甚大な被害を発生させた。さらに土石流は山腹斜面に存在していた多量の樹木を巻き込んで流下し、これらは流木となって下流の橋梁を閉塞して土石流の氾濫を助長して被害を拡大させた。開析が進んでいない山腹斜面では広範囲にわたる表層崩壊が発生し、さらに地形の起伏が少ない中・下流部では複雑な経路をたどって土石流が流下・氾濫した。伊豆大島における土砂災害の特徴を大きくまとめると次に4項目になる。(a)局地的で希な豪雨による土砂災害、(b)火山灰堆積地帯における土砂移動現象、(c)広い面積の表層崩壊に伴う多量の流木の発生、(d)流木による橋梁の閉塞と土石流(泥流)の氾濫、である。

(1) 局地的で希な豪雨による土砂災害

伊豆大島大金沢の土砂災害を引き起こしたのは局地的で希な豪雨である。それらをまとめると次のとおりである。

- (i) 大金沢およびその周辺では数百超過確率規模の豪雨が発生した。このために広い範囲の斜面崩壊、大規模な土石流・流木が発生した(図4.9.3、図4.9.4)。
- (ii) 大金沢では計画規模を超えた土砂量と流木量が発生した。
- (iii) 大金沢左支川では計画規模を超えた土石流・流木が流域界を越えて神達地区を襲い被害が大きくなつた(図4.9.5、図4.9.6、図4.9.7)。

(2) 火山灰堆積地帯における土砂移動現象

伊豆大島大金沢の土砂災害を引き起こしたのは比較的新しい火山灰堆積地帯において発生した表層崩壊とそれに続く土石流・流木の流下・氾濫である。それらの特徴は次のようにまとめられる。

- (i) 表層崩壊および斜面侵食面積率が高い(大金沢における荒廃面積率は39%、崩壊面積率は5%、侵

食面積率は 12.8%）（図 4.9.3）。

- (ii) 細粒土砂（火山灰）を多量に含む、土砂濃度が比較的低い泥流型土石流が発生・流下した。このため流速が大きく家屋等の破壊力も大きかった。
- (iii) 大金沢流域では開析が進んでいないために谷地形が未発達である。このため流域界を超えて土石流が流下・氾濫し、被害地域を拡大させた。

（3）広い面積の表層崩壊に伴う多量の流木の発生と流木による橋梁の閉塞

大金沢における流木の発生・流下・堆積、および流木による災害の特徴を整理すると次のとおりである。

- (i) 大金沢では広い範囲の天然の広葉樹林が破壊されて多量の流木が発生・流下した（図 4.9.3, 図 4.9.4）。
- (ii) 大金沢の左支川から多量の流木が下流の流路に流入し、市街地にある橋梁を閉塞させて周辺に土石流を氾濫させ、被害を増大させた（図 4.9.5, 図 4.9.6, 図 4.9.7）。
- (iii) 既設の透過型堰堤等により効果的に流木が捕捉されて下流の被害を防止軽減している箇所も見られた（図 4.9.7, 図 4.9.8）。



図 4.9.3 大金沢上流部の崩壊



図 4.9.4 大金沢における表層崩壊



図 4.9.5 流木による橋梁の閉塞と土石流・流木の氾濫



図 4.9.6 流木・土砂の氾濫による家屋被害



図 4.9.7 大金沢左支川において流域界を超えて土石流・流木が流下



図 4.9.8 大金沢本川堆積工

(4) 伊豆大島土砂災害からみた今後の検討課題とあり方

伊豆大島土砂災害からみた今後の検討課題とあり方は次のとおりである。

(a) 火山灰堆積地帯における土砂移動現象に関する研究と土砂災害対策の推進

伊豆大島は我が国有数の活火山で有り大規模な噴火は 100～150 年に 1 回、中規模の噴火は 30～40 年毎に発生しており、その度に多量の火山灰（降下火碎物を）を堆積させ、さらに溶岩流を発生させている。特に、火山灰は表層に厚く堆積しており、堆積年代や表層部の風化や土壌化により強度や透水性が異なるために表層崩壊および斜面侵食が発生しやすい条件にある。加えて、地形の形成年代が若いために開析が進んでおらず、谷が未発達で、谷密度が小さい流域も存在する。このような特徴を持つ大金沢上流域では広い面積にわたり表層崩壊が発生し、中流域では土石流の流下に伴い広い面積にわたり表層土壌の侵食が発生した。このような地質および地形的な特徴を持つ火山灰堆積地域は我が国には広く分布しているため、そのような地域では今後も同様の災害が発生する可能性が高い。このため、①火山灰堆積地帯における土砂移動現象に関する研究（斜面崩壊、泥流型土石流の発生、流下、堆積機構）を推進するとともに、②それらの土砂移動現象の特性を踏まえたハードおよびソフト対策を進展させる必要がある。具体的には、火山灰地帯の地形の特性、火山灰の土質特性、火山灰堆積地帯の水文特性を踏まえた斜面崩壊の発生予測（場所、規模、時刻）と斜面崩壊土砂が泥流型土石流に変化する過程、泥流型土石流の流下・氾濫特性などを明らかにする必要がある。さらに、これらの斜面崩壊を効果的に防止する手法、流動性が高く、巨礫を含まない泥流型土石流の効果的な捕捉施設、導流施設の設計方法を開発すると共に、泥流型土石流の氾濫範囲の精度の高い予測手法を開発する必要がある。

(b) 流木の発生・流下・堆積機構の解明と流木対策のさらなる推進

大金沢の上・中流域は天然林であるハチジョウイヌツゲ等の常緑広葉樹林により広く覆われていた。これらの樹木が表層崩壊に伴い、土石流とともに流下したり、土石流により押し流されて流木となり下流に流出した。樹林の密度は比較的高く、一方で崩壊・侵食された表層土は比較的浅いために、土砂量に対する流木の量は相対的に多く、これらの多量の流木が大金沢の流路を流下したために、下流にある橋梁が流木で閉塞されて、土石流は流路外へ氾濫して周辺の家屋を破壊し、多数の人命を奪つ

た。流木の発生・流下・堆積機構には不明な点も多く、その予測手法も十分ではない。このため、今後とも①流木の発生・流下・堆積およびそれらの予測に関する研究を推進する必要がある。大金沢では本川と右支川の堆積工に鋼製透過型堰堤が設置されていた（図 4.8.8）ために流木が捕捉され下流の被害を軽減した。このように流木対策は実施すれば効果は明確に表れるものであり、さらなる推進が必要である。②流木対策の推進にあたっては、上・中流域における流木の発生抑止、透過型堰堤等による流木捕捉、さらに下流の流路部・橋梁部の構造の改良による閉塞の軽減対策等も合わせて推進する必要がある。また、③ハザードマップの作成に当たっては流木による橋梁の閉塞による流路外への氾濫を考慮する等の検討が必要である。

(c) 局地的で希な豪雨による土砂災害の予測手法の開発と対応の検討

今回、気象庁大島観測所では最大 1 時間、2 時間、3 時間および 24 時間雨量のいずれも約 500 年超過確率の雨量を観測した。一方で、そこから約 4km 離れた気象庁北ノ山観測所では半分以下の雨量であり、今回の豪雨は大金沢周辺の局地的で希な豪雨であった。最近大きな被害を出した土砂災害における超過確率雨量は、対象とする降雨期間により異なるものの、いずれも 100 年を超えて、大部分は数百年以上となっている。このような希な豪雨、極端な気象現象が多発している原因としては地球温暖化の影響が指摘されており、今後とも発生する可能性は極めて高い。従来の土石流・流木対策計画では一般に 100 年超過確率雨量に対応する土砂量や流量を基にハードおよびソフト対策を検討してきている。しかしながら、100 年超過確率を超える規模の土石流・流木が全国各地で毎年のように発生していることを考慮すると、これを超えるような規模の土石流・流木災害についても何らかの対策を検討して講じていく必要があると考える。具体的には、従来の 100 年超過確率雨量を対象とするハード対策、ソフト対策とは別に、特に優先度が高い地域については、数百年超過確率雨量規模の土石流・流木災害を想定した、①基本的な機能を喪失することのない対策施設の設計と設置、②被災度が分かる精度の高いハザードマップの作成手法の検討、③局地的で希な豪雨に対する警戒避難体制の検討等を実施していく必要がある。特に、ハザードマップの作成においては、火山灰堆積地域における開析が進んでいない地形特性、泥流型土石流の流下・氾濫特性、橋梁等における流木の閉塞による流路外への土石流の氾濫について考慮すると共に、適切な斜面崩壊規模の想定に基づいた土砂量の想定が重要である。

4.9.5 平成 26 年(2014)8 月の集中豪雨による広島市での土石流・山腹崩壊災害の実態²⁾と課題

平成 26 年 8 月 20 日未明、広島市では安佐北区から安佐南区にかけての地域において、最大 60 分間雨量が 130mm、最大 120 分間雨量が 211mm、最大 180 分間雨量が 239mm の雨を記録した。この短時間の降雨により同時多発的に土石流等が発生し、平成 11 年 6 月 29 日の広島土砂災害による死者 24 名を上回る 73 名もの尊い命が土砂災害によって失われる甚大な被害となった（図 4.9.9）。土石流、斜面崩壊は広島市の安佐南区と安佐北区にまたがり、南西から北東方向に長さ約 21 km、幅約 3 km にわたって分布した。この地域の標高は、人家のある太田川沿いの約 10m から阿武山の山頂の 586m である。また地質は産業技術総合研究所の地質図によれば、全体的には広島花崗岩が広く分布しているが、安佐南区の阿武山付近には接触変性を受けたジュラ紀の付加体が分布しており、安佐北区の三入地区では流紋岩が分布している。異なる地質の境界付近でも同様の密度で土石流、斜面崩壊が発生していることから土石流および斜面崩壊の分布は地質による違いは少なく、主として雨量の大きい地域に分布していると考えられる。この区域において 70 渓流以上において土石流が発生し、

斜面崩壊は 80 箇所以上で発生している。土石流の大半は溪流の最上流である 0 次谷における小規模の表層崩壊により発生しており、そこからの崩壊土砂の流下に伴う渓床、渓岸沿いの堆積土砂・風化土砂の侵食により土砂量を増加させて、下流に流下した。土石流の流下した渓流の主流路長は大部分が約 1km 未満と短く、流域面積も大部分は約 0.2km² 未満と小さい。



図 4.9.9 多数の崩壊・土石流が発生した阿武山周辺
(国土地理院の HP からの写真³⁾ に加筆)

平成 26 年 8 月広島災害の特徴は次のとおりである。

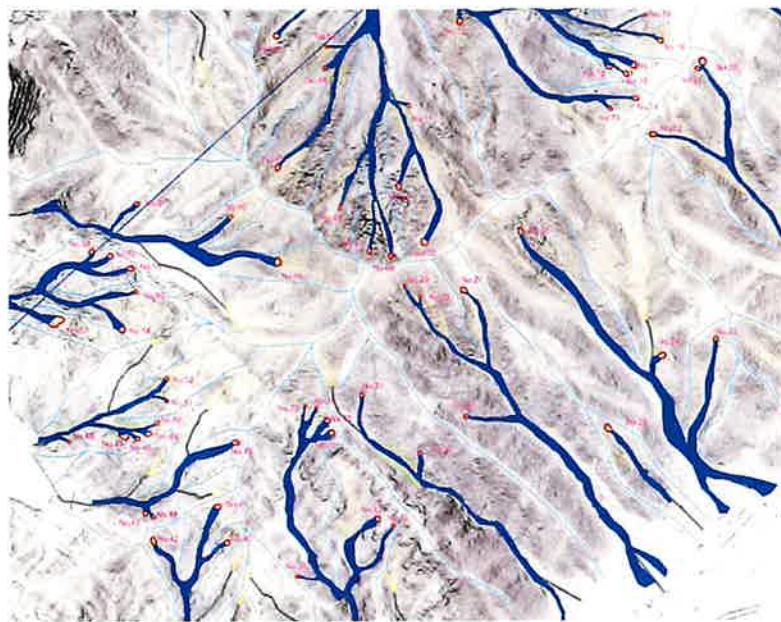
(1) 0 次谷における表層崩壊の多発とそれを出発点とする土石流の拡大流下

渓流の最上流部にあたる 0 次谷において多くの土石流が発生しており、これらの崩壊土砂が渓流を流下する間に渓床、渓岸を浸食して土砂や立木を巻き込み、土砂量や流木量を増大させることにより、規模を拡大して、下流において大きな被害を発生させた。

以下では、土石流の発生が多数認められた阿武山（標高約 585m）山体と、高松山（標高約 340m）山体の 2 箇所において、0 次谷における崩壊の発生および土石流への発達の実態について調査・解析した結果⁴⁾を述べる。

(a) 解析方法

対象地区について災害発生後の航空写真（朝日航洋株式会社）を用いて、1/5,000 の等高線図に崩壊地・土砂流下範囲を示した（図 4.9.10）。また設定した定義に則り、崩壊の発生箇所を区分しその割合を求めた。さらに、0 次谷内の崩壊は、予測面積を絞り込むため、3 つに区分し、その割合を求めた。なおここでは、土石流は土砂が谷地形の箇所を長さが 100m 以上流下しているものとし、それ以外は斜面崩壊と定義した。

図 4.9.10 崩壊と土石流の分布（阿武山周辺）⁴⁾

各渓流の流域内は①区分 I : 0 次谷内, ②区分 II : 渓岸, ③区分 III : その他の区域の 3 つに区分した（図 4.9.11）。それぞれに設定した定義を以下に示す。区分 I の「0 次谷」は 1 次谷の上流部の源頭部斜面とし、1 次谷最上端から伸びる谷延長線から左右岸側に各々 30 度ずつ開いた直線と流域界のラインで囲まれた範囲と定義した。また、0 次谷の範囲は、0 度ラインから左右岸に 10 度ずつ 3 等分し、それぞれを区分 a : 10 度未満, 区分 b : 10 度以上 20 度未満, 区分 c : 20 度以上 30 度未満とした（図 4.9.11）。なお、30 度ラインまで広範囲に及ぶ崩壊は区分 a とし、その他各々のラインをまたぐ崩壊においては、崩壊範囲がより広く含まれる区分とした。区分 II の「渓岸」は谷線（中心線）から左右岸に水平距離 20m 以内で囲まれた範囲を渓岸と定義した。区分 III の「その他」は上記の区分 I, 区分 II のどちらにも当てはまらないとした。なお、崩壊発生箇所の地形により凸地形と凹地形の 2 つに分類した。土砂移動距離が水平距離で 100m 以上あるものを土石流と定義した。移動距離とは崩壊源から土砂が停止している地点までを指し、泥水の氾濫域は含まない。なお、複数の崩壊源から発生した土砂が合流し流下している場合においても、同様に各崩壊部から停止地点までの水平距離をそれぞれ測定した。

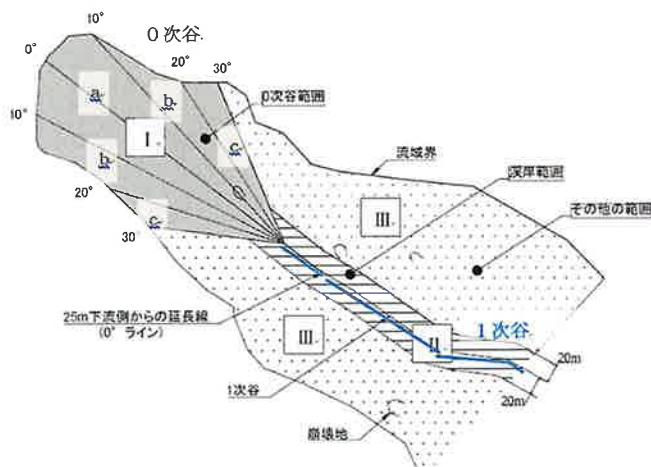


図 4.9.11 流域内の3区分（区分 I : 0次谷, 区分 II : 渓流, 区分 III : その他）
および0次谷内の3区分（a, b, c）⁴⁾

(b) 解析結果

対象地区内において判読できた崩壊箇所数は 181 箇所だった。区分 I の「0次谷」内が 96 箇所で、発生割合は最も高く約 53% となった。また、区分 II の「渓流」内は 18 箇所で約 10%, 区分 III の「その他」内が 67 箇所で約 37% となった。この区分 III の「渓流」内の崩壊のうち、64 箇所、全体の約 35% が凹地形で発生しており、区分 I での発生割合に次いで大きな値となった（図 4.9.12）。また、区分 I の「0次谷」をさらに細分化すると、96 箇所中区分 a が 42 箇所、区分 b が 26 箇所、区分 c が 28 箇所となり、0次谷内での区分割合は、区分 a が約 44% と最も高かった（図 4.9.13）。

さらに、判読域全体の 0 次谷数は 155 箇所存在し、崩壊を有する 0 次谷は 73 箇所であった。この値は全 0 次谷の約 47% を占める結果となった。区分 I もしくは区分 III の凹地形での崩壊発生割合が非常に高くなる理由として、降雨時の地表水の集中ならびに表層土内における地中水の集中が崩壊を誘発することが考えられる。このことから、斜面上からの雨水が集中する地点が最も崩壊しやすいと考えられ、そのような箇所を判読することにより、崩壊発生箇所予測の範囲を絞ることができると考えられる。

全崩壊箇所数 181 箇所において、それぞれ土砂移動距離を測定したところ、156 箇所の崩壊が土石流化し、25 箇所が途中停止したという結果となった。この結果より、発生した崩壊の約 86% が土石流になったことが判明した。一方、土砂移動が途中停止した 25 箇所の崩壊発生区分は区分 I が 6 箇所、区分 II が 4 箇所、区分 III が 15 箇所となり、区分 I および区分 II で発生した崩壊土砂が途中停止する割合は極めて低い結果となった。区分 I や区分 II で発生した崩壊が高い割合で土石流化した理由として、直下もしくは水平距離 20m 以内に土砂流下を導く 1 次谷にまで発達した谷が存在するため比較的長距離を土砂が移動できる環境にあることが挙げられる。

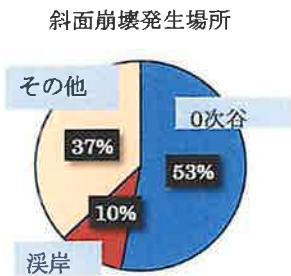


図 4.9.12 溪流内での 3 区分における斜面崩壊の発生率

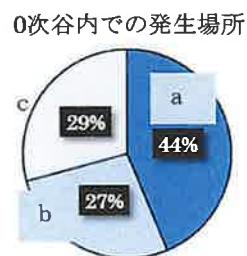


図 4.9.13 0 次谷内での 3 区分における斜面崩壊の発生率

(c) 0 次谷対策の必要性

土石流対策として、比較的小規模な崩壊である源頭部の対策を行うことが有効な手段と考える。今回判読した地域では、判読域の全 0 次谷のうち約半数で崩壊が発生し、そのほとんどが土石流化しているため、0 次谷内の崩壊対策を実施することで、半数程度の土石流を防止することができるのではないかと考える。また、対策箇所は主に区分 I のうち、特に区分 a の箇所が最重要地と考える。0 次谷における斜面崩壊の段階では、土砂量は少ないので下流に比べて小規模な施設で土石流への発達や拡大を防止・抑制できて効率的である。ただし、全 0 次谷数、面積共に膨大な数量となるため、山地災害危険地区を重ね合わせた判読域の絞込みや、土砂移動停止の要因がある渓流、下流での既対策の有無を考慮して重要度を決定することが必要であると考える。

(2) 微地形解析による凹地形での崩壊の発生

(a) 対象地域と解析方法

斜面崩壊、土石流が集中して発生し、被害も甚大であった安佐南区阿武山東側斜面の五反田川～鳥越川の範囲 ($1675\text{ m} \times 875\text{ m}$)において地形解析、崩壊危険度判定を行った。この範囲における地質は広島花崗岩である。

崩壊地の抽出は崩壊後に撮影されたオルソ画像と航空レーザ測量により得られた LP データにより作成された赤色立体地図（アジア航測、特許第 3670274 号）を用いて ArcGIS10.2 (ESRI 社) 上で崩壊地を判読することにより行った。

地形因子の解析には災害前の平成 21 年の LP データを土砂災害発生前の地形データとして用いて ArcGIS により解析を行った。地形解析・危険度判定は基本的に 5m メッシュ単位にて解析した。解析した地形因子は傾斜・横断曲率・縦断曲率・集水面積とした。これらの地形因子は崩壊への寄与度が高いことから従来から多数の崩壊危険度判定手法に採用されている^{5),6)}。

地形因子の算出には ArcGIS Spatial Analyst 機能を用いる。傾斜はメッシュごとに傾斜角を算出した。また、集水面積は対象セルに対する流入セル数に 25 m^2 をかけたものとする。横断曲率と縦断曲率はサーフェイスの二次導関数をメッシュごとに算出した。

崩壊地は全セル数 58543 個のうち 185 個、およそ 0.3% 抽出された。各崩壊地の平均面積は 74.6 m^2 で、 100 m^2 以下の崩壊地が多く観測された。これは花崗岩地質地域の斜面崩壊の特徴である。

(b) 解析結果

地形解析の結果から崩壊地と非崩壊地の傾斜分布図(図 4.9.14), 横断曲率分布図(図 4.9.15), 縦断曲率分布図, 集水面積分布図を作成し, 分布の特徴の違いを考察した。傾斜角について, 崩壊地は30度~50度に多く分布し, 緩斜面での崩壊は見られなかった(図 4.9.14)。横断曲率では, 崩壊地は谷地形に, 非崩壊地では尾根地形に多く分布し, 分布の違いが見られた(図 4.9.15)。縦断曲率と集水面積では崩壊・非崩壊による大きな分布の違いは見られなかった。これらの結果から, 微地形解析により崩壊箇所をある程度は予測することが可能と考えられる。

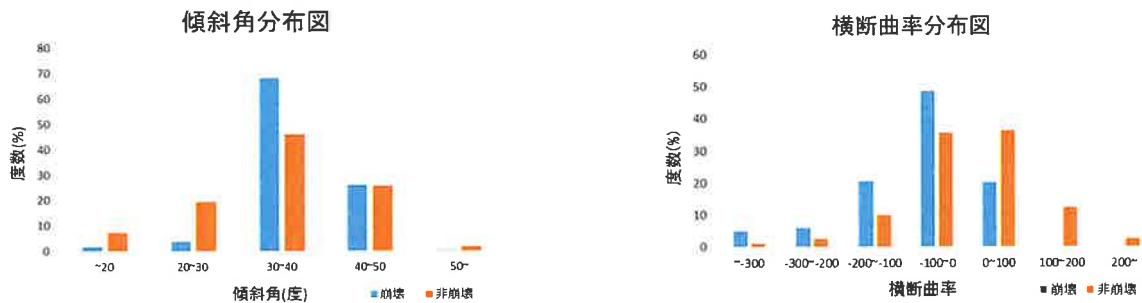


図 4.9.14 崩壊地と非崩壊地の傾斜角分布

図 4.9.15 崩壊地と非崩壊地の横断曲率分布

(3) 短時間の局所的な豪雨による土砂災害

今回の土砂災害は線状降水帯の影響により, 強い豪雨が数時間継続した長さ約 13km, 幅約 3km という狭い範囲に集中している。また, 降雨量は, 安佐南区八木 5 丁目における雨量計(国土交通省, 高瀬雨量観測所)では8月20日1時から4時までの3時間に187mm, 2時から3時までの1時間雨量87mmを記録しており, 短時間の強い雨が原因と考えられる。

(4) 花崗岩地帯と堆積岩類地帯において多く発生

今回の災害では, 花崗岩類と変成作用を受けた堆積岩類(ホルンフェルス), 流紋岩類が分布するような地域で, 同じような豪雨を受けて土石流が集中的に発生した。しかし, これらの地質の違いによる流出土砂量や土石流発生密度の違いは明確には認められなかった。一方で, 地質の違いにより, 巨石の到達距離, 土石流下経路の侵食・堆積状況等に違いが認められた。

(5) 扇状地の新しい宅地開発地域での災害

安佐北区の八木地区, 緑井地区は, 過去の土石流の氾濫・堆積により形成されたと考えられる扇状地上を宅地開発し, 住宅が密集している。このため, 今回の土石流の氾濫・堆積により多数の家屋が破壊されるとともに多くの人命が失われた。

(6) 深夜の豪雨による災害

降雨強度が高いのは20日の深夜1~4時に集中しており, このため3~4時に多くの土石流, 斜面崩壊が発生した。避難勧告が遅くなったりもあり, 住民の避難が遅れて死者・行方不明者が多くなったと考えられる。

(7) 平成 26 年広島土砂災害における検討課題と対応

平成 26 年広島土砂災害における検討課題は次のとおりである。

(a) 0 次谷における表層崩壊を防止・抑制することによる土石流の発達防止および発生抑制

斜面崩壊の約半数が 0 次谷で発生しており、それらのほとんどは土石流となって下流に流下して大きな被害を与えている。斜面崩壊の段階ではその規模（土砂量）は小さいが、溪流を流下する途中で渓床・渓岸の土砂や流木を巻き込み土砂量・流木量が増大する。このため、0 次谷において斜面崩壊を防止するか、崩壊土砂を捕捉することにより、土石流・流木の発生を防止ないしは発達を抑制できると考えられる。0 次谷における対策は下流における対策よりも小規模な対策で済み、渓流の森林の破壊を防止・抑制でき、費用の点でも少なくて済むと考えられ合理的であると考えられる。一方で、工事用道路等が設置されていない場合も多いので対策工の施工が難しい面もあるので、軽量で簡便な施工が可能な工法の開発が必要である。

(b) 航空レーザ測量を用いた微地形解析による崩壊発生箇所、土砂災害発生箇所の予測技術の開発

レーザ・プロファイラを用いた地形計測技術の開発により微地形解析が面的に精度良く実施可能になってきており、災害後の崩壊発生位置や形状、土石流の流下経路の侵食・堆積の状況、流路の周辺や林地斜面内での不安定化傾向などがかなり詳細に読み取れるようになってきている。これらの成果をもとに土砂災害の発生場所、形の予測手法の精度向上等の研究開発を進め、適切なハードおよびソフト対策の検討に反映させる必要がある。

(c) 土石流扇状地における宅地開発の規制と土砂災害特別警戒区域の指定と公表

今回特に人的な被害が多かったのは、安佐南区の八木地区と緑井地区でありこれらの地区は、過去の土石流扇状地上を宅地開発した地区であり、住宅が密集していたために今回の土石流の氾濫・堆積により大きな被害が発生した。このような土石流扇状地の宅地開発の規制が必要であり、そのためには全国的に進められている土砂災害特別警戒区域、土砂災害警戒区域の指定と公表が必要と考えられる。

(d) 局地的な豪雨に対する短時間予測の精度向上と避難勧告の迅速な発令

今回の土砂災害を引き起こした豪雨は線状降水帯の影響により狭い範囲に集中して短時間に発生したが、この様な豪雨の短時間予測は警戒避難の判断において重要であるが、予測技術はいまだ十分ではない。このため局地的な豪雨に関する短時間予測の精度向上が必要である。

(e) 自主的な避難の推進

今回の災害では、土砂災害警戒情報は 20 日 1 時 15 分に出されたが、避難勧告は土砂災害が発生した後の 4 時 15 分であった。このように避難勧告が遅れることもあり、さらに、避難勧告が発令されたとしても一部の住民には伝わらないことも十分に考えられる。このようなことから、住民は自宅が危険区域内にあることを確認して、降雨時には気象情報や土砂災害警戒情報、さらに自治体の発表する避難勧告等に注意を払い、雨が強くなった時や異変を感じた時には住民が自主的に近くの民家や、緊急の場合には渓流・斜面から離れた 2 階の部屋に避難するなどの対応が必要である。

(f) ハード対策の推進

上記のように警戒避難を主体としたソフト対策は重要であるが、ソフト対策だけでは、人命、人家やライフラインに対する被害を防止・軽減することはできない。人命が守られたとしても、被災後のコミュニティや生活の場の復旧には多大な費用と長い時間がかかり、被災者に多大な影響を与えることとなる。そのような影響を軽減するためにはハード対策を推進して人命、人家やライフラインを保全することが重要である。

4.9.6 平成29年(2017)7月九州北部豪雨による土石流・流木災害の実態⁷⁾と課題

平成29年(2017)7月5日～7日に、福岡県朝倉市、東峰村から大分県日田市に至る範囲は時間雨量120mm、日雨量800mmを超える豪雨に見舞われた(図4.9.16)。これにより、当該地域の山腹斜面では多数の表層崩壊が発生し、このため崩壊した土砂と立木は溪流に流入し、土石流・流木となり、流木を含んだ土石流や洪水は下流へ流下して氾濫・堆積し、甚大な被害を与えた(図4.9.17)。一方、日田市小野川流域では山腹斜面において長さ約300m、幅約200mの地すべり崩壊が発生し、崩壊した土砂により斜面直下を流れる河川が堰止められ土砂ダム(河道閉塞)が形成された。これらにより、朝倉市を中心に福岡・大分両県では死者・行方不明者41名、全壊275棟、半壊1061棟に及ぶ大きな被害が発生した(8月21日現在)。土砂災害は307件(土石流163件、地すべり3件、崖崩れ141件)が発生し、死者・行方不明者20名、全壊99棟、半壊63棟と大きな被害が発生した(8月31日現在)。アメダス朝倉の降雨量は、時間雨量、3時間雨量、6時間雨量、12時間雨量、24時間雨量のいずれも、400年超過確率雨量(Gumbel式)を超えている。今回、山腹斜面崩壊の発生した地域の地質は变成岩類、深成岩類、火山岩類などである。

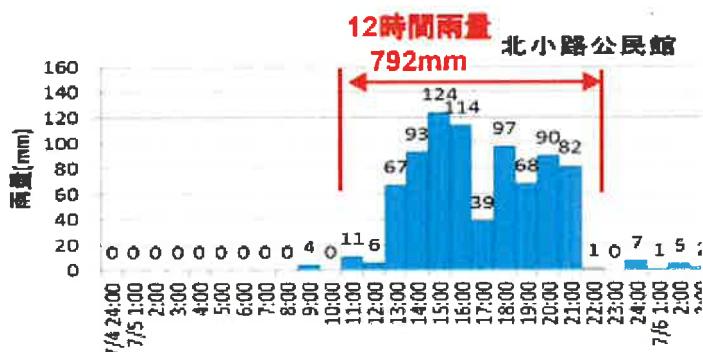


図4.9.16 福岡県朝倉市黒川、北小路公民館における雨量の推移

(最大時間雨量124mm、最大12時間雨量729mm) 国土交通省HP⁸⁾より

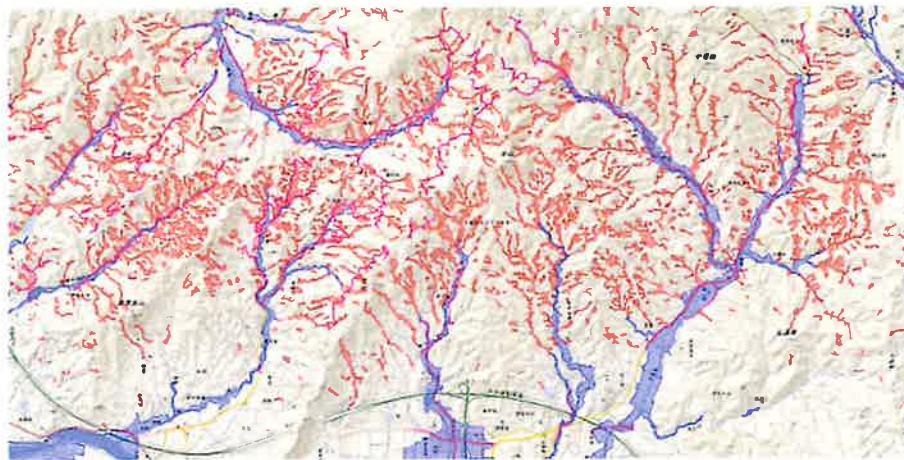


図 4.9.17 福岡県朝倉市および周辺の斜面崩壊、土石流（赤色部）および洪水・土砂・流木の氾濫範囲（青色部）（国土地理院の HP⁹⁾ より）

平成 29 年の「九州北部豪雨」災害の後に林野庁により発表された「流木災害等に対する治山対策検討チーム」中間とりまとめ¹⁰⁾における平成 29 年 7 月九州北部豪雨による災害の特徴は次のとおりである。

(1) 山腹崩壊と雨量¹⁰⁾

山腹崩壊は日雨量が 500mm を超えた地域を中心に分布していた。これは記録的な豪雨で有り、希な豪雨である。このことから、今回の山地災害は記録的な豪雨が大きく影響していたと考えられる。

(2) 地質¹⁰⁾

森林地域全体での地質の分布割合は、火山岩類（安山岩、玄武岩）が 55% と最も多く、次いで火碎流堆積物が 17%，変成岩類（結晶片岩）が 16% となっている。一方、山腹崩壊地での地質の分布割合は、変成岩類（結晶片岩）が 61% と最も多く、次いで森林地域での地質の分布割合が 3% である深成岩類（花崗閃緑岩）が 20%，火山岩類（安山岩、玄武岩）が 16% となっている。また、地質別の森林地域全体の面積に占める山腹崩壊地の面積割合である地質別の崩壊面積率を算出したところ、

- ・深成岩類（花崗閃緑岩）：2.9%
- ・変成岩類（結晶片岩）：1.9%

となり、深成岩類（花崗閃緑岩）や変成岩類（結晶片岩）は、山腹崩壊が生じやすいとの結果が得られた。また、日田市小野地区で発生した大規模な崩壊は、過去の地すべりあるいは崩壊で生じた崩土の再移動により生じたものであり、他の崩壊とは発生メカニズムが異なると考えられる。

(3) 崩壊斜面の傾斜¹⁰⁾

森林地域全体での斜面傾斜角の最頻値は 26°、山腹崩壊地での最頻値は 32° であった。また、山腹崩壊地の斜面傾斜分布は、森林地域全体での斜面傾斜分布と比較すると、26°～42° の範囲が多くなっている。このことから、山腹崩壊の発生には、比較的傾斜の急な地形が影響したものと考えられる。

(4) 尾根谷度¹⁰⁾

尾根谷度の分布は、森林地域全体については尾根部に偏っており（谷：尾根=41：59），山腹崩壊地については谷部（凹地形）に偏る傾向が顕著（谷：尾根=68：32）となった。このことから、山腹崩壊の発生には、0次谷（明瞭な流路を持たない谷頭の集水地形）を含む、谷部（凹地形）が影響したものと考えられる。

(5) 樹種¹⁰⁾

森林地域全体におけるスギ、ヒノキ、広葉樹は、各樹種とも尾根部に偏って分布しており（スギ：54%，ヒノキ：62%，広葉樹：59%），山腹崩壊地については、各樹種とも谷部（凹地形）に著しく偏って分布している（スギ：76%，ヒノキ：66%，広葉樹：68%）。

このことから、(i)～(ii)までの分析も踏まえると、今回の山腹崩壊の発生は、樹種の違いよりも地形条件等の違いによる影響が大きいと考えられる。

(6) 林齢¹⁰⁾

森林地域全体における人工林齢級別面積の割合は、10～13齢級の壮齡林が全体の45%と約半分を占めている。山腹崩壊地における人工林齢級別面積の割合は、10～13齢級が全体の52%と過半数を占めている。

このことから、壮齡林における山腹崩壊の発生が大量の流木の発生につながったと考えられる。

一方、人工林齢級別の森林地域全体の面積に占める山腹崩壊地の面積割合である人工林の齢級別の崩壊面積率を算出したところ、1齢級が5.1%，2齢級が2.2%，3齢級以上の平均値が0.2%となり、1～2齢級の幼齡林の林分で山腹崩壊が生じやすいとの結果が得られた。

このことから、立木の成長に伴う根系の発達等により、山腹崩壊が抑制されたものと考えられる。なお、1～2齢級林分の崩壊状況を一部確認したところ、深さ1～2m程度の表層崩壊が生じていた。

(7) 地質別の崩壊面積率¹⁰⁾

地質別の山腹崩壊の面積率は次のとおりである。

- ・深成岩類（花崗閃緑岩）：2.9%
- ・変成岩類（結晶片岩）：1.9%

となり深成岩類（花崗閃緑岩）で崩壊がし易い結果となった。

(8) 施業の有無¹⁰⁾

間伐等の施業の有無と山腹崩壊との関係については、スギ・ヒノキ人工林を対象として、過去10年間（平成19年～28年）の除伐、保育間伐、間伐及び更新伐の施業履歴の有無を基に分析した。施業履歴の有無別の森林地域全体の面積に占める山腹崩壊地の面積割合である崩壊面積率を算出したところ、福岡県（朝倉市、東峰村）では「施業履歴なし」が1.9%，「施業履歴あり」が1.3%，大分県（日田市）では「施業履歴なし」が0.13%，「施業履歴あり」が0.08%となっており、いずれも「施業履歴なし」が「施業履歴あり」を上回る結果となった。(i)～(vii)までの分析も踏まえると、今回の山腹崩壊の発生は、施業の有無よりも地形条件等の違いによる影響が大きいと考えられるが、わずかながら「施業履歴なし」が「施業履歴あり」を上回る結果となつたことからすれば、間伐等の実施が山腹崩壊の防止に少なからず効果を發揮した可能性もあると考えられる。なお、適期の間伐は、

太い根系を多くし森林の崩壊防止力を高めることに有効とされている。

(9) 崩壊に伴う流木、倒木の発生¹⁰⁾

山腹崩壊の発生に伴い、そこに生育していた立木が崩壊により倒木となったり、溪流に流入して土石流や洪水と共に流下して流木となった。流木は土石流とともに流下し、河川に流入して橋梁を閉塞して土石流・洪水の氾濫を助長したり、洪水と共に下流に到達して平地部にも氾濫・堆積した（図 4.9.18, 図 4.9.19, 図 4.9.20, 図 4.9.21）。

(10) 山地災害の発生のメカニズム¹⁰⁾

以上の特徴をまとめると、今回の山地災害の発生メカニズムは次のように考えられる。

広い地域で時間雨量が 50mm を超えるような強雨が長時間連続し、日雨量では 500mm を超える記録的な豪雨が発生した。この豪雨による多量の雨水が比較的傾斜が急な源頭部の斜面である 0 次谷等の凹地形に短時間に集中し、土壤水分の飽和を伴いながら表層部の比較的深い部分まで浸透して、このため、立木の根系が及ぶ範囲よりも深い部分で表層崩壊が発生した。山腹崩壊にともない、山腹崩壊地に生育していた立木と崩壊土砂が崩落し、これが溪流に入って、溪流周辺の立木や土砂を巻き込みながら、土石流・流木となって流下した（図 4.9.22）。土砂および流木の一部は河川に流入して、洪水と共に下流に流下して、谷底平野や沖積平野部で氾濫・堆積し、大きな被害を発生させた。土砂・流木が下流まで到達した大きな原因是、今回、連続雨量が 500mm 以上と大きかったことがあげられる。

なお、一部には不透過型堰堤による流木の捕捉事例が見られた（図 4.9.21）。



図 4.9.18 筑後川水系大肥川支川における土石流・流木による被害



図 4.9.19 筑後川水系大肥川支川宝珠山川における流木による橋梁の閉塞



図 4.9.20 筑後川水系赤谷川における土砂・流木の氾濫堆積



図 4.9.21 筑後川水系妙見川における不透過型砂防堰堤による流木の捕捉

(11) 平成 29 年九州北部豪雨災害のような山地災害防止のための課題

このような山地災害を防止するための課題は次のとおりである。

(a) 山腹崩壊の防止による土砂・流木の発生抑制

今回の山地災害では、崩壊や土石流による直接的な被害の他に、流木が橋梁を閉塞したことによる土石流や洪水・流木の氾濫による被害の拡大が顕著であった。このような、土石流・流木の発生源の多くは山腹崩壊と土石流の流下に伴う渓床、渓岸の浸食・崩壊である。また、土石流の発生の多くは山腹崩壊に起因しているため、このような災害を抑制するためには山腹崩壊を抑制することが重要である（図 4.9.23）。

(b) 土石流の発達、流下にともなう土砂・流木の発生抑制

土石流はその流下に伴って、渓床・渓岸を浸食して渓岸崩壊を助長することにより、土砂量や流木量を増加させる。このような土石流の流下に伴う土砂量や流木量の増加を防止することが災害を抑制するためには重要である。

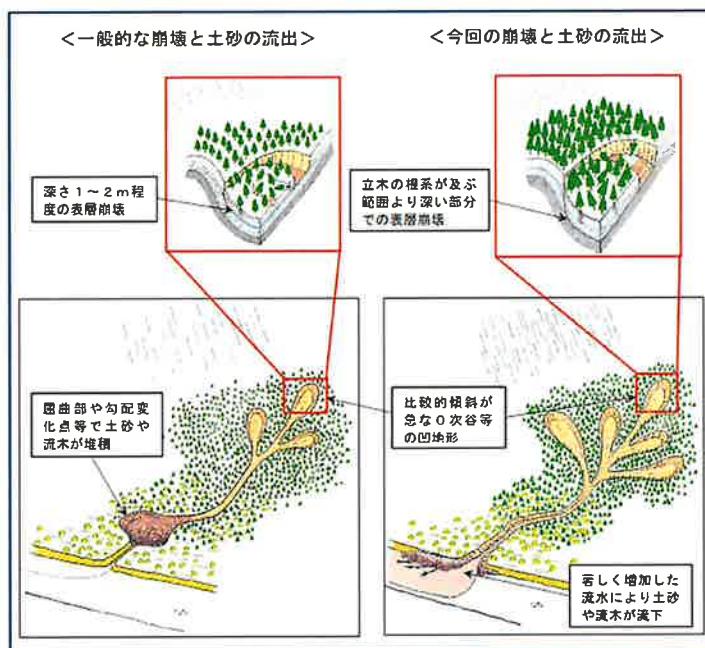


図 4.9.22 平成 29 年 7 月九州北部豪雨による山腹崩壊、土石流、流木の発生の特徴

(一般的な崩壊・土砂流出との比較)¹⁰⁾

(c) 土砂・流木の捕捉

土石流によって流下してきた土砂や流木を捕捉することにより下流へ流下する土砂量や流木量を減少させることも、下流での土石流・流木被害の軽減にとって重要である。

以上の崩壊・土石流・流木の発生抑制、捕捉を行うための基本的な対策手法が土砂・流木の発生域（渓流上流）、流下域（渓流中流）、堆積域（渓流下流）に分けて述べられている（図 4.9.24）¹⁰⁾。

(i) 山腹崩壊・土石流の発生区域(上流)¹⁰⁾

この区域は渓流の上流域にあたり、大部分が0次谷と呼ばれる区域である。主として山腹崩壊を防止するために、(a)保安林の適正な配備、(b)間伐等による根系等の発達促進、(c)土留工等による表面侵食の防止等の対策を行う(図 4. 9.24)¹⁰⁾。

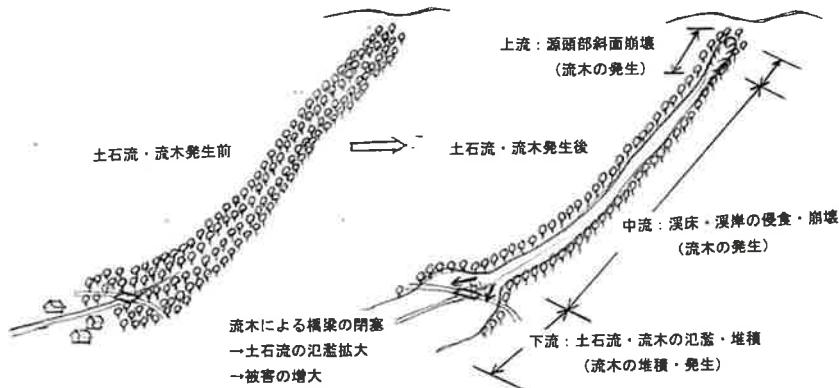


図 4. 9.23 山地における崩壊・土石流・流木発生の模式図

(ii) 土石流の流下区域(中流)¹⁰⁾

この区域は主として流木を伴った土石流の流下区域であるが、渓床・渓岸の浸食や渓岸崩壊による土砂・流木の発生域でもある。したがって、この区域では、渓床・渓岸の浸食・崩壊を防止するための治山施設を設置するとともに、部分的には土砂や流木を捕捉する施設も設置される。また、流木の発生を抑制するために、渓床、渓岸付近の立木の量を減少させることも効果がある。従って、主な対策としては、(a)流木化する可能性の高い立木の伐採による下流域の被害拡大の抑制、(b)流木捕捉式治山ダムの設置等による効果的な流木の捕捉等を行う(図 4. 9.24)¹⁰⁾。

(iii) 土石流の堆積区間(下流)¹⁰⁾

この区域は主として流木を伴った土石流が堆積・氾濫する区間であるとともに、渓流が河川に合流しているため土砂や流木が河川に流れ込む区域でもある。集落等が近いために人家への被害や橋梁等の閉塞による氾濫も起こりやすい。人家への被害を防止するために、氾濫を抑制したり、さらに、下流への流木の流下を抑制する施設を設置する。主な対策としては、(a)森林を緩衝林として機能させることによる堆砂の促進や流木の捕捉、(b)治山ダムの設置等による渓床の安定や流木の流出拡大の防止等を行う(図 4. 9.24)¹⁰⁾。

図 4. 9.24 土砂・流木の発生抑制および捕捉を行うための基本的な対策手法¹⁰⁾

4.9.7 平成30年(2018)7月豪雨による土石流・流木災害の実態^{11),12)}と課題

平成30年(2018年)6月28日～7月8日にかけて広島県、岡山県、愛媛県を中心として北海道や中部地方を含む、全国的な広い範囲で、台風7号や梅雨前線の影響により、場所によっては時間雨量129mm(沖縄県宮古郡多良間村仲筋)、最大24時間雨量691.5mm(高知県安芸郡馬路村魚梁瀬)、最大72時間雨量1319.5mm(高知県安芸郡馬路村魚梁瀬)の豪雨に見舞われた。これにより、山腹斜面では多数の表層崩壊が発生し、このため崩壊土砂と立木は渓流に流入し、流木を含んだ土石流や洪水は下流へ流下して氾濫・堆積し、甚大な被害を与えた。全国では死者行方不明者230人、全壊6,767棟、半壊11,243棟と大きな被害が発生した(平成31年1月9日現在、消防庁)。土砂災害は1464件(土石流465件、地すべり50件、崖崩れ949件)が発生し、死者行方不明者118人、全壊63棟、半壊70棟と大きな被害が発生した(平成30年7月30日現在、国土交通省)。土砂災害は特に、広島県で多く、1県としては国交省の集計開始以降最高の1,243件に達した。次いで愛媛県において多く発生した。

林野庁「平成30年7月豪雨を踏まえた治山対策検討チーム」中間とりまとめ¹³⁾による平成30年7月豪雨による災害の特徴は次のとおりである。

(1) 雨量¹³⁾

レーダ雨量観測データによる期間総降雨量(6/28～7/8)の分布を確認すると総雨量の多い地域と崩壊発生地域とでは必ずしも一致していない。そこで、72時間の最多降雨量の雨量階級別に単位面積当たり崩壊発生箇所数をみると、雨量が増加する(雨量階級が上がる)につれて崩壊箇所数が増加していることが分かる。このことから、72時間雨量と崩壊発生箇所数には関係性がみられた。

次に、気象庁アメダス観測所における1時間降水量は、広島県では7月6日に三原市本郷で56.5mm(既往最大値55mmを更新)、呉市倉橋で59.5mm(既往最大値46mmを更新)を記録したが、愛媛県では史上1位の更新は記録されなかった。一方で、多くの観測点で24, 48, 72時間降水量の値が観測史上1位となり、このうち72時間降水量をみると、広島県では三原市本郷の471mmをはじめとし34観測地点中21の観測地点で、愛媛県では北宇和郡鬼北町近永の543.5mmをはじめとし23観測地点中11観測地点で観測史上1位を更新した。

このように、今回の山地災害の発生には、2～3日間の比較的長時間の記録的な豪雨が崩壊発生に大きく影響したものと考えられる(図4.9.25)。

(2) 地質¹³⁾

森林地域全体での地質の分布割合は、広島県では深成岩(花崗岩類)が56%と最も多く、次いで火山岩(流紋岩等)が26%、付加コンプレックスが7%となっている。愛媛県では付加コンプレックスが79%と最も多く、次いで変成岩類が17%となっている。

一方で、森林地域に発生した崩壊地を地質別にみると、広島県では深成岩(花崗岩類)が4,483箇所(59%)と最も多く、次いで火山岩(流紋岩)で2,722箇所(36%)となっており、この二種類の地質に全体の95%の崩壊発生箇所が分布している。愛媛県では付加コンプレックスが761箇所(87%)を占め、次いで変成岩類が100箇所(12%)となっている。花崗岩、流紋岩及び変成岩の地質別の単位面積崩壊発生箇所数については、それぞれ11箇所/km²、4箇所/km²、7箇所/km²との既往報告があるが、今回の災害実績では花崗岩5箇所/km²、流紋岩7箇所/km²、変成岩0.8箇所/km²となっており、既往報告よりも流紋岩の山腹崩壊発生箇所が多くな

っている。

次に、広島県において主要な地質である深成岩（花崗岩類）及び火山岩（流紋岩等）ごとに雨量階級別の単位面積崩壊発生箇所数についてみると、雨量階級 200~300mm, 300~400mm では花崗岩で発生箇所が多いが、400mm を超えると火山岩（流紋岩等）が多くなっている。

また、愛媛県において主要な地質地帯である付加コンプレックス及び変成岩類ごとに雨量階級別の単位面積崩壊発生箇所数についてみると、雨量階級が大きくなるに従い発生箇所数が多く、地質別では付加コンプレックスが多くなっている。

のことから、広島県の山腹崩壊では、花崗岩に加え流紋岩での崩壊が、愛媛県の山腹崩壊では、付加コンプレックスでの崩壊が多いことが特徴として挙げられる。

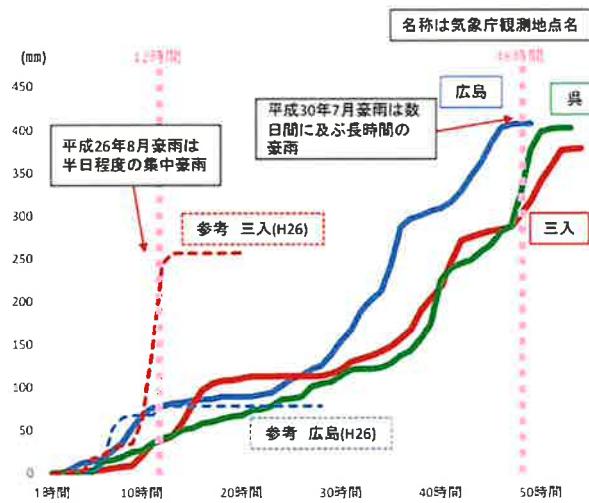


図 4.9.25 広島県の累積雨量の比較（平成 26 年 8 月豪雨との比較）¹³⁾

※気象庁公表データを元に作成、広島＝広島市中区、三入＝広島市安佐北区、
呉市＝呉市宝町

(3) 斜面傾斜度

森林地域全体での斜面傾斜角の最頻値は、広島県では 24~26°、愛媛県では 26~28° の範囲となっている。また、山腹崩壊発生地点での最頻値は、広島県では 24~26° と森林地域全体と同じ値であるのに対し、愛媛県では 28~30° と若干急勾配となっている。このことから、山腹崩壊の発生には、広島県では傾斜との関係は判別されないが、愛媛県では比較的傾斜の急な地形が影響したものと考えられる。

(4) 尾根谷度¹³⁾

尾根谷度の分布は、広島県では森林地域全体については尾根部に偏っており（谷：尾根=35:65）、山腹崩壊発生地点については尾根部（凸地形）に偏る傾向が顕著（谷：尾根=29:71）となった。一方で、愛媛県では森林地域全体については尾根部に偏っており（谷：尾根=39:61）、山腹崩壊発生地点については尾根部への偏りが小さく（谷：尾根=44:56）、谷部（凹地形）の割合が増えている。

一般的に、降雨による山腹崩壊は、谷地形で起こりやすいとされているが、今回の山腹崩壊は、特に広島県では尾根地形に偏って発生した傾向がみられた。これは、通常崩壊発生源とならない尾根部付近が発生源となったことを示唆している（図 4.9.26）。

(5) 樹種と林齡¹³⁾

樹種と尾根谷部との関係から、樹種よりも地形条件等の違いによる影響がより大きいと考えられる。

林齡に関しては、既往調査結果でも言わわれているとおり、2~3歳級で崩壊が多く発生し、立木の成長に伴う根系の発達等により、山腹崩壊が一定程度抑制されているものと考えられる。

(6) 溪流における土砂の移動と花崗岩の巨石の流下¹³⁾

崩壊土砂の一部は、斜面中・下部や渓床内に堆積し、その下流では渓床・渓岸が激しく侵食されていた。また、大きさ約2~3m程度の花崗岩の巨石や流紋岩の巨石が、渓流内やその周辺林地、流出土砂堆積地、下流被災地（住宅団地等）に散見された（安芸区矢野東、呉市安浦町市原、東広島市黒瀬）。

(7) 諸因子の分析を踏まえた山地災害の発生メカニズム¹³⁾

現地調査及び崩壊地分布データと既往データの重ね合わせによる分析結果を踏まえると、今回の山地災害の発生メカニズムは、基本的に以下のとおりと考えられる。

- ① 多くの観測点で24, 48, 72時間降水量の値が観測史上1位を更新するような数日にわたる長時間の大雨が発生。
- ② この大雨による多量の雨水が、周辺森林から比較的傾斜が急な斜面における0次谷等の凹地形に長時間にわたって集中し、土壤の飽和を伴いながら深い部分まで浸透したことから、立木の根系が及ぶ範囲より深い部分で表層崩壊が発生。その際、崩壊発生箇所の多くが、深成岩（花崗岩類）や付加コンプレックス等の脆弱な地質地帯に集中。
- ③ また、一部の山腹では、長時間にわたる大量の雨水の浸透により尾根部付近においても土壤が飽和し、この飽和した水が尾根部直下から吹き出したことなどにより、斜面が不安定化し山腹崩壊が発生。
- ④ 山腹崩壊地に生育していた立木と崩壊土砂は、一部は斜面中・下部や渓床内に堆積し、一部水系が発達する流域では、多量の降雨のため著しく増加した流水により、渓流周辺の立木や土砂を巻き込みながら下流域に流下。その際、渓流内にあった巨石（図4.9.27）はもとより、渓岸、渓床侵食により発生した巨石が流下したことにより土石の流下エネルギーを増大させ、下流保全対象の被害を拡大。

4.9.8 平成30年7月豪雨等近年の豪雨に伴う山地災害の特徴的なメカニズム等を踏まえた対策

平成30年7月豪雨等近年の豪雨に伴う山地災害の特徴的なメカニズム等を踏まえた対策として、次のような事項・内容が示されている¹³⁾。(1) ソフト対策の強化、(2) 巨石への対策、(3) 脆弱な地質地帯における山腹崩壊等対策及び(4) 流木対策について整理し、様々な要因により全国各地で発生する。山地災害から効果的に被害を防御するため、これらの対策を複合的に組み合わせた治山対策（複合防御型治山対策）が（5）のとおり整理されている。

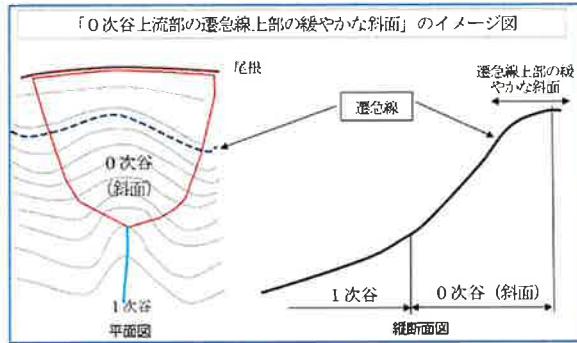


図 4.9.26 山腹崩壊発生箇所のイメージ図¹³⁾

（0次谷上流部の遷急線・上部の緩やかな斜面から崩壊している例が多い）

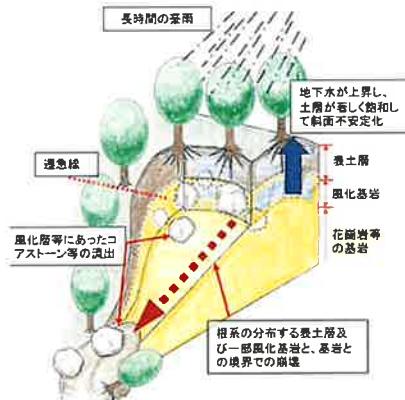


図 4.9.27 尾根部付近の崩壊発生メカニズムのイメージ¹³⁾

※太田猛彦「水と土を育む森」(1996)を参考に作成

(1) ソフト対策の強化¹³⁾

激甚化する豪雨災害に対して、治山施設の整備に関する対策（ハード対策）だけで、その予防を全て行うことは困難であり、事前防災・減災対策の観点からも警戒避難体制に関する対策（ソフト対策）が強化されることが重要となっている。治山対策においても関係機関や地域住民と連携しつつ、都道府県及び市町村が地域防災計画に基づいて実施する警戒避難体制の整備に貢献するソフト対策を積極的に推進する。

(a) 定期点検の実施

人家・公共施設等を保全対象とする山地災害危険地区等において、航空レーザや無人航空機(UAV)等による調査結果を活用しつつ、また、地域住民とも連携（合同での現地確認や異常出水、地下水水流

出等の聞き取り等)して現地における点検を定期的に実施することなどにより、現地の状況を随時かつ的確に把握し、対応策の計画的な実施及び地域住民への実際的な情報提供を推進する。

(b) 地域住民への山地災害発生リスクに関する情報の周知徹底

山地災害の発生の危険性の高い地域の住民に対し、同地における災害履歴や地下水の湧出等の異常現象を知ることの重要性、定期点検の有効性や山地災害に備えた避難対策の好事例等について拡充したパンフレット等を用いて山地災害防止キャンペーン等において情報提供を行うほか、土石流センサや山腹の亀裂発生箇所におけるセンサの設置など警戒避難態勢の整備等の対応策と連携した取組を促進する。

(2) 巨石や土石流への対策¹³⁾

航空レーザ計測等を通じて把握した巨石が渓流内や周辺林地に堆積している箇所においては、その流下に伴う直接的な被害や土石流の発達を防止するため、施工条件や施設の維持管理条件、対策の緊要性を勘案して、ロープネット・ワイヤーネットの固定等による落石予防工、落石防護工（高エネルギー吸収柵式）、巨石流下にも対応した治山ダム等の設置を検討する。なお、渓流内に、流下するおそれのある巨石がある箇所は、治山施設の整備と併せて巨石を小割して埋戻し等に使用するなどの処理を検討する。

また、今後、激甚な豪雨災害による巨石等を含んだ土石流による流下外力が増大するリスクが高まっていることから、巨石等の流下のおそれが確認できる箇所において施工する治山ダムについては、衝撃力等の外力に対する強度を適切に有するように、天端厚の確保や鉄筋の挿入、背面への盛り土等による袖部の補強を行う。さらに、巨石等を含んだ土石流の流下量、流下エネルギーを勘案した高さと厚さを持つ治山ダムを設置するほか、既設治山ダム等に不安定な土砂、巨石、流木が異常堆積している場合には、当該土砂等を排土・除去（除石、流木撤去等）する。

(3) 脆弱な地質地帯における山腹崩壊等対策¹³⁾

火山噴出物、崖錐堆積物等の脆弱な地質地帯では、地下水の上昇により土層が著しく飽和し、山腹崩壊が発生して崩壊土砂・土石により直下の人家等に被害を与えることになる。このため、脆弱な地質地帯においては、森林の山地災害防止機能を最大限に発揮するため、土砂流出防備保安林、土砂崩壊防備保安林及び落石防止保安林（以下「土砂流出防備保安林等」という。）の適正な配備とともに、指定施業要件を適切に定め、山腹斜面の非皆伐施業を進める。また、間伐等による森林の適切な密度管理を行い、根系や下層植生の発達を促すとともに、立木間に根系による土壤の緊縛効果等が及ばない「すき間」が生じるおそれがある場合は、当該林分の後継樹ともなり得る木本類を導入し、森林の山地災害防止機能を持続的に発揮させる。さらに、近年では森林の有する山地災害防止機能の限界を超えた災害が頻発化していることも踏まえ、直下に人家等の保全対象が近接する箇所においては、保安林の適正な配備や森林の整備と一体的に、斜面の安定性を向上させる補強土工、表面侵食の防止や土砂の移動を抑制するための土留工や柵工、山腹斜面が集水地形であるときは水路工、湧水等が確認される場合は暗渠工等の山腹工をきめ細かく施工することなどを積極的に検討する必要がある。また、根系の到達しない風化層内の崩壊が予想される場合には、崩壊が予想される層とその下の岩盤等を結つけるためのアンカー工や杭工についても現場に応じて採用することも考えられる。このような山腹斜面においては、降雨時に異常出水や地下水の流出等がないか、情報を収集しておくことも重

要である。このほか溪流部における脆弱な地質地帯においては、溪岸・渓床の侵食が進むことから、治山ダムを階段状に設置し、侵食を防止する。

なお、山頂尾根部の崩壊発生源の復旧に当たっては、重機・資材搬入の制約などが想定されることから、必要に応じて航空緑化工を採用するなど、現地の施工条件に応じた効果的な復旧に努めることとする。

(4) 流木対策

平成 30 年 7 月豪雨の流木災害の状況¹³⁾は、人工林の流木が主体であった平成 29 年九州北部豪雨と比較した場合¹⁰⁾、流木の材積の面からすれば 相対的に被害への影響は低かったと考えられるが、流木が橋脚に引っかかって河川の氾濫の一因となったとの指摘があった。このため、今回の災害に際しても、平成 29 年 11 月に公表した「流木災害等に対する治山対策検討チーム」中間取りまとめ¹⁰⁾の結果に即し、引き続き必要な流木対策を適切に講じていく必要がある。なお、林野庁では、同中間取りまとめを踏まえ緊急点検を実施し、緊急的・集中的に流木対策が必要な箇所として約 1,200 地区を抽出し、流木捕捉式治山ダムの設置等の流木対策を計画的に進めている。

(5) 複合防護型治山対策の推進¹³⁾

平成 30 年 7 月豪雨においては、その被害状況を踏まえ、地質や地形等の条件によっては上記(2)～(4)の対策を複合的に講ずるべき箇所が確認されたことから、近年激甚な豪雨が頻発化していることを踏まえ、同様の豪雨に備えるよう、渓流の発生区域、流下区域、堆積区域の特性や、地形、脆弱な地質の分布状況など施工地の条件に応じて、再整理し、有機的に組み合わせて山地災害を効果的に防護する「複合防護型治山対策」(図 4.9.28) として次の(a)～(e)の例のように推進する。なお、(1)のソフト対策については、(a)～(e)のいずれにおいても合わせて実施することが望ましいものとして、(6)に別記している。

(a) 0 次谷等の凹地形が荒廃している又は荒廃の兆候がみられ、林内及び渓流内に巨石が点在している場合¹³⁾

崩壊の発生によって、渓流内等に点在する巨石や土砂、流木を巻き込みながら溪岸・渓床を侵食し、下流域に大きな被害を与えるおそれがある。このような箇所においては、渓流内の巨石、異常堆積している不安定土砂、流木・倒木等を除去するとともに流木と巨石の両方を捕捉する機能を有する治山ダム又は落石防護工（高エネルギー吸収柵式）により、流木と巨石の流下を抑止する。さらには、その下流では治山ダムにより渓床勾配を緩和し、溪岸・渓床の侵食を防止することで、土石流の流下エネルギーの減少及び流下土砂の堆積を促す。

(b) 尾根部付近から谷の出口までの流下区間が長く、下流域の保全対象に大きな被害が及ぶおそれがある箇所¹³⁾

流下区間が長くなることから、複数の治山ダムを上流部より階段状に設置し、溪岸・渓床の侵食を防止する。加えて、平成 30 年 7 月豪雨においては、記録的な豪雨による土砂流の氾濫が各地で被害を助長したことを踏まえ、対策の実施に当たっては、流末処理対策も検討する必要がある。なお、今回の災害では、尾根部付近からの崩壊が多く発生していることに留意しつつ、樹木の根系の発達を促し、土壤の緊縛力を一層引き上げるよう適切な密度管理を推進することとする。

図 4.9.28 「複合防護型治山対策」の例¹³⁾(c) 谷出口に人家等の保全対象が近接している場合¹³⁾

巨石や流木を含んだ土石流の流下量、流下エネルギーを勘案した高さと厚さを持つ治山ダムを設置し、それでもなお、巨石や流木が治山ダムを乗り越えるおそれがある場合は、治山ダムを保護し、機能を発揮させるために落石防護工（高エネルギー吸収柵式）を併せて設置することも検討する。

(d) 流出土砂や流木が多く、既設治山ダムに異常堆積している渓流の場合¹³⁾

降雨時に既設治山ダムを越流して下流に被害が及ぶおそれがある場合には、治山ダムの設置や既設治山ダムの機能強化に併せて、治山ダムやその上流域の巨石、異常堆積している不安定土砂、流木・倒木等を排土・除去し、下流への流出を防止する。

(e) 巨石が点在する脆弱な地質の斜面が人家等の保全対象に近接している場合¹³⁾

間伐等による森林の適切な密度管理及び斜面の安定性を向上させる 山腹工に加え、巨石の落下を予防するロープネット工や、土留工に落石防護工（高エネルギー吸収柵式）を整備するなど、山腹崩壊防止対策と 巨石対策を併せて実施する。

(6) 複合防護型治山対策と合わせて実施するソフト対策

治山施設の整備等のハード対策を進める一方で、事前防災・減災対策の観点から、上記（a）から（e）までのハード対策をより効果的に実施するため、ハード対策の推進状況や保全対象との関係を踏まえ、以下のソフト対策を組み合わせて実施する¹³⁾。

(a) 山地災害発生のリスクの高い地域における現地点検

山地災害危険地区において、特に災害発生リスクの高い箇所を把握するよう、脆弱な地質地帯等において航空レーザ計測、合成開口レーダ、無人航空機（UAV）調査等の結果を活用し、地域住民と連携した定期点検等の現地踏査を積極的に行い現地の状況を隨時かつ的確に把握することにより、効果的な対策の計画及び地域住民への実際的な情報提供に資することとする。また、荒廃地等の監視・観測体制の構築（山腹斜面内の亀裂や遷急線の確認、異常出水・地下水の流出等の崩壊の前兆現象を把握する等を含む。）を推進する。

(b) 確実な避難の促進対策

土石流センサや人家裏山の亀裂発生箇所におけるセンサ等の設置の検討など警戒避難態勢の整備に資する対応策等と連携した取組みを効果的に組み合わせる。また、特に今回の災害箇所のうち、崩壊直前に住民が異常な出水を確認し、避難したことにより人的被害に至らなかつた事例があつたことなどを教訓として、警戒避難体制の周知を一層強化していくことが必要である。

(7) その他の留意事項

(a) 保安林の適正な配備

土砂流出防備保安林等の配備に当たっては、土石流等の発生箇所となる危険性のある0次谷及び尾根部付近、治山施設の上流域等を含む森林の山地災害防止機能の発揮が期待される箇所において、一体的に保全・整備すべき森林を指定し、また必要に応じて指定施業要件を見直すなど、保安林の適正な配備に努める。

(b) ハード事業やソフト対策における他事業との連携

事業実施箇所が他省庁・機関所管する事業・施設と隣接するなど、相互の事業の連携により効果的に下流域への被害の防止・軽減等を図ることができる場合には、相互に連携を図りつつ、円滑かつ効果的な事業実施に努める。

(c) 設計条件の見直し

近年の記録的な豪雨は、想定を超える雨量や流出土砂量等をもたらし、既設治山ダムによる効果はみられたものの、一部損壊した事例もみられたことから、上記の対策を進めていくに当たり、設計条件等の見直し等についても今後検討していく余地はある。

(d) 脆弱な地質地帯等における各種災害への応用

今回の中間取りまとめは、豪雨を起因とした山地災害を対象に治山対策の在り方を整理したものであるが、平成30年は、4月に大分県中津市耶馬渓町の地すべり災害が、9月に北海道胆振東部地震などが発生し、平成30年7月豪雨災害以外にも火山堆積物や崖錐堆積物等により構成される脆弱な地質地帯で激甚な山地災害が発生しているところである。それぞれ、起因する自然現象(災害の種類)は特異性があるものの、事前防災・減災対策等を講ずる箇所や、複合防御型治山対策の実施内容は、災害の種類に関わらず脆弱な地質地帯等における治山対策に応用できるものであり、より効果的に治山対策を進める上で、中間取りまとめで示した複合防御型治山対策等の考え方を広く治山施策に反映していくことを検討するものとする。

(e) 山地災害の発生メカニズム等に関する調査

今回の検討は、短期間での限定した調査・分析によるものであったことから、山地災害の発生メカニズム等を十分に解明したとは言い難い。山地災害の発生に関する諸因子等について、必要に応じて追加の調査・分析を行うとともに、その結果を今後の事前防災・減災対策に活用するものとする。

4.9.9 最近の表層崩壊、土石流、流木災害から見た今後の地球温暖化に対する課題と対応

最近の表層崩壊、土石流、流木による災害実態から見た今後の地球温暖化に対する課題をまとめて次に述べる。

(1) 地球温暖化による気候変動への影響予測（気象庁）と関連する課題

気象庁の「地球温暖化予測情報第9巻」¹⁴⁾(2017年)によれば、日本の将来の降水量に関する予測として次のように結論づけている。なお、以下では20世紀末（現在気候、1980～1999年）と21世紀末（将来気候、2076～2095年）を比較したものである。

- ・年降水量や季節ごとの3か月降水量は、年々変動の幅が大きく、ほぼ全国的に有意な変化がみられない。
- ・日降水量200mm以上となるような大雨の年間発生回数は全国的に有意に増加し、全国平均は2倍以上となる（図4.9.29）。

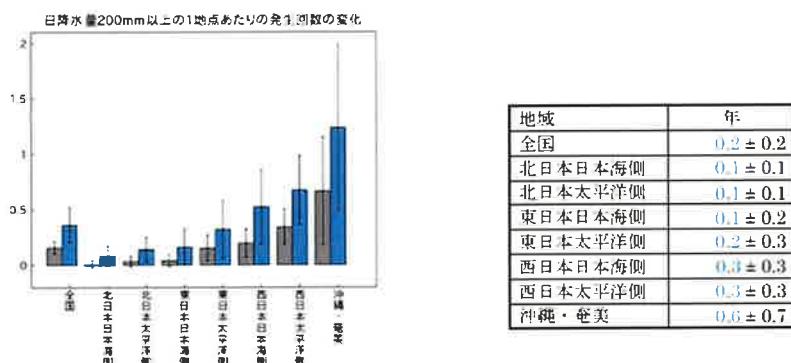


図4.9.29 日降水量200mm以上の年間当たりの発生回数の変化

表中で90%で優位の場合には青字で示している。¹⁴⁾

- ・滝のように降る雨（1時間降水量50mm以上の短時間強雨）の年間発生回数は全国的に有意に増加し、全国平均では2倍以上となる（図4.9.30）。

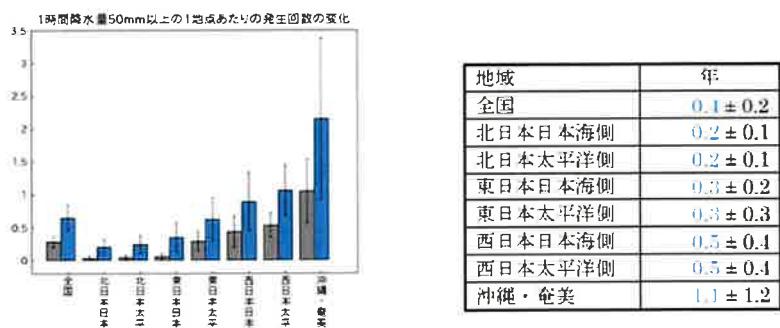


図4.9.30 1時間降水量50mm以上の年間当たりの発生回数の変化

表中で90%で優位の場合には青字で示している。¹⁴⁾

- ・年最大日降水量はほぼ全国的に優位に増加する（図4.9.31）。また、ほとんどの地域で将来変化量が現在気候の年々変動の幅より大きいことから、将来気候では、現在ではほとんど観測されないよ

うな年最大日降水量が例年のように出現する。

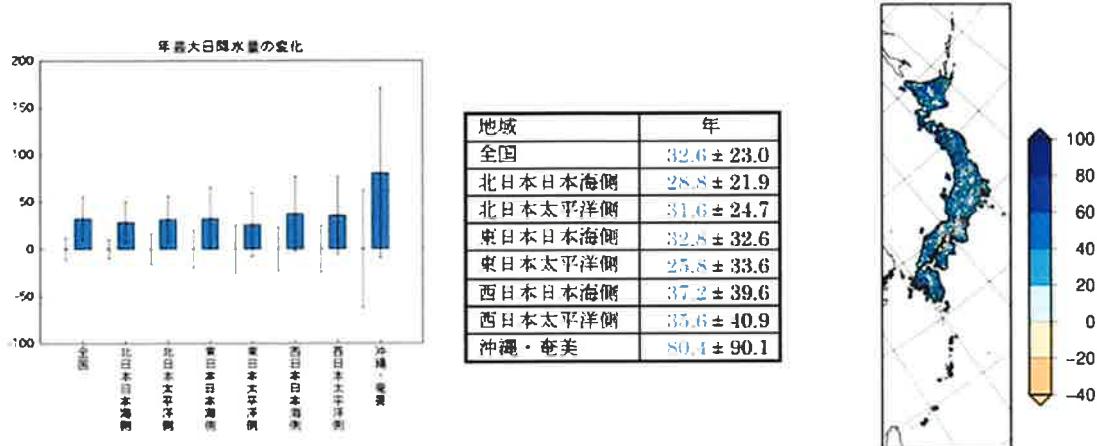


図 4.9.31 年最大日降水量の将来変化¹⁴⁾（左図）現在気候に対する変化量(単位：mm)（左：現在気候、右：将来気候）（中図）左図の各数値の、「将来変化量±標準偏差」、90%で優位の場合には青字で示している。（右図）現在気候に対する変化率（単位：%）

以上のように、気候変動により 2076～2095 年には、土砂災害を引き起こすような、強い 1 時間雨量、大きな最大日雨量が増加すると予想されている。

- このような将来予測される降水量、降水強度の増加に関連する課題としては次のようなものがある。
- ア. 降水量、降水強度の増加と土砂移動現象（崩壊、土石流、地滑り等）の発生数、規模等の増加（計画洪水流量、計画流出土砂量）等と発生場所の変化（山地災害危険地区の見直し）の関係を検討する。
 - イ. 降水量、降水強度の増加にともなう土砂災害防止のための対策工の設計、施工方法のあり方（土砂災害の発生数、規模の増加に対して安全な設計、施工法）を明らかにする。
 - ウ. 降水量、降水強度の増加に伴う、ソフト対策（警戒避難体制の整備）のあり方（土石流等の検知機器の改良、警戒避難に必要な情報の種類・内容、山地災害危険地区の見直し）を検討する。

(2) 山腹崩壊発生予測手法についての課題

山腹崩壊に関する課題としては次のようなものがある。

(a) 山腹崩壊発生箇所の予測手法の開発

最近の山地災害の実態調査から、土石流・流木の発生に繋がる山腹斜面崩壊の多くは 0 次谷で発生している。このことから、0 次谷における山腹崩壊発生箇所の地形や林相・林床植生等に基づく山腹崩壊発生箇所の予測手法を開発する、このことにより、土石流・流木の発生を抑制する対策に結びつける。

(b) 山腹崩壊の発生時刻（発生雨量）の予測手法の開発

山腹崩壊の発生を引き起こす雨量は斜面の地形、地質、植生等により変化すると考えられる。警戒避難等のソフト対策には発生時刻の予測が重要である。一般に山腹崩壊の発生時刻の予測は降雨量に

より行われてきている。このため、降雨量を基にした山腹崩壊の発生予測手法の開発が重要である。なお、山腹崩壊による崩壊土砂が溪流を流下すると土石流に変化する場合が多いため、山腹崩壊の発生時刻の予測は土石流の発生時刻の予測としても用いることができる。

(c) 山腹崩壊の形態の変化

最近の山腹崩壊発生箇所の調査から、多くの山腹崩壊は立木の根系が到達していない比較的深い場所に滑り面があることが分かっている。このような比較的深い表層崩壊は比較的長期間の降雨により引き起こされ易いと考えられている。一方で、最近は立木の齢級が増加して、根系が深くなってきていることから、浅い表層崩壊が減少していることも影響していると考えられる。このような表層崩壊の形態について、種々のデータを集めて、分析し、明らかにしていく必要がある。

(3) 山腹崩壊から土石流に変化する過程と0次谷対策手法の開発

(a) 山腹崩壊のみで停止し、土石流化しない場合の条件の分析

山腹崩壊が発生しても土石流化しないで斜面の下方で崩壊土砂が停止・堆積する場合がある。このように山腹斜面の途中で崩壊土砂が停止する条件（地形（勾配、凸地形等）、流域面積、森林の密度等）を整理する。逆の意味では崩壊土砂が土石流化する条件を明らかにする。

(b) 凹地形斜面での崩壊土砂の到達範囲の予測手法と対策工法の開発

土石流の定義としては一般に1次谷以上の谷を流下する土砂移動現象をさしている場合が多い。しかしながら1次谷にならない凹地形斜面においても崩壊土砂は流下し、このような場合には、一般的な斜面崩壊による土砂の到達範囲を超えて到達する場合がある。このような凹地形斜面における斜面崩壊による土砂の到達範囲の予測手法を開発する必要がある。また、このような凹地形の斜面では、従来の谷止め工のような溪流対策施設は設置しにくい。このため凹地形斜面に適した対策工法を開発する必要がある。

(4) 巨石の調査方法と対策手法の開発

(a) 巨石の調査方法

平成30年7月豪雨では、特に広島県で巨石（花崗岩のコアストーンなど）が土石流とともに多量に流下して、下流で人家等を破壊して、人命を奪った。巨石は質量が大きいために、土石流に含まれて人家や施設に衝突した場合に破壊力も大きく、人家や施設に大きな被害を与える。災害前の巨石の分布調査方法としては、空中写真やレーザ・プロファイラを用いた方法が行われているが、これらの調査の精度を向上させるとともに、巨石の安定度を判定する手法を開発する必要がある。

(b) 巨石の対策工法

巨石の移動と衝突による人家や施設への被害を防止・抑制する手法としては、移動の開始を防止する（発生防止）方法、流下途中で捕捉する方法、衝突しても被災しないように、人家や施設が被害をでないように施設によりエネルギーを減少させる方法、さらに、人家や施設の強度を向上させる方法などがある。このような実現可能で効果の高い対策手法を開発する必要がある。

(5) 流木の発生・流出量の予測と効果的な流木捕捉工

(a) 流木の発生・流出量の予測手法の開発

平成 25 年伊豆大島大金沢土石流災害、平成 29 年 7 月九州北部豪雨による災害においては、特に、大量の流木が発生・流下し、下流の橋梁を閉塞して土石流や洪水の氾濫を助長して災害を拡大させた。対策を検討するためには、流木の発生・流出量を精度よく推定することが重要であり、このための調査手法及び予測手法を開発する必要がある。

(b) 効果的な流木の発生抑制工法の開発

流木災害防止軽減のためには、第一は流木の発生を抑制・軽減することにある。これは斜面崩壊の発生抑制、土石流の発生抑制と共通する場合が多いが、共通しない場合もある。

たとえば、崩壊可能性が高い斜面や土石流の流下する可能性が高い渓流沿い森林の間伐・除伐を進めたり、人工林から広葉樹への林相転換を進めることで、流木の発生量を減少させることが可能となる。どの範囲までこのような対策する必要があるか、どのような方法が適するかについて検討を進める必要がある。

(c) 効果的な流木の捕捉手法の開発と計画・設計法

流木捕捉工としては、現時点でも種々の透過型の施設（主として鋼製治山ダム）が開発されてきており、実際に使用されている。しかしながら、それらの多くは土石流捕捉、あるいは渓床・渓岸浸食防止を主目的としており、かならずしも流木捕捉を主として計画、設計されている訳ではない。流木捕捉の効果を高めるためには、流木捕捉を主目的にした施設の計画、設計、配置が必要と考えられる。

(6) 降雨強度・降雨量の増大にともなう、通常の計画規模を超える土石流（流木）の規模の設定手法と対策施設の設計法の開発

(a) 通常の計画規模を超える土石流の規模を設定する手法の開発

平成 25 年（2013）台風 26 号に伴う豪雨による伊豆大島大金沢における大規模な土石流・流木災害、平成 26 年（2014）8 月の集中豪雨による広島市での土石流・山腹崩壊災害、平成 29 年（2017）7 月の「九州北部豪雨」による福岡県、大分県における土石流・流木災害、平成 30 年（2018）7 月豪雨においては、いくつかの渓流において計画を上回る土砂が下流へ流出し、下流の人家等や施設に甚大な被害を与えた。将来、降雨強度や降雨量が増加すると、現在の 100 年超過確率雨量を基に算定している計画土砂量を超える土砂量が頻発する可能性は高くなる。計画土砂量が増加することにより土石流のピーク流量も増加し、流体力や礫の衝突による衝撃力も増加するため、外力の増加に対してその機能を保持できる治山施設の設計手法を取り入れる必要がある。

このため、通常の計画規模を超える土石流の規模（土砂量、ピーク流量、流体力、衝撃力）を推定し、設定する手法を開発する必要がある。

(b) 通常の計画規模を超える土石流に対する治山施設の設計法の開発

通常の計画規模を超える土石流により、通常の設計外力を超える流体力や衝撃力が治山施設に作用する。このような場合、治山施設に損傷が発生する可能性が高い。これまでの治山施設の損傷事例を収集整理してその原因を分析し、通常の計画規模を超える土石流が流下した場合でも、治山施設に多少の損傷は発生しても、本来の機能を大きく損なわないような治山施設の設計手法を開発する必要が

ある。すなわち通常の計画以上の外力に対してもレジリエントな（粘り強い）治山施設の設計法を開発する必要がある。

(7) 火山地域における山腹崩壊および土石流発生のメカニズムと対策施設の設計法の開発

(a) 火山地域における山腹崩壊箇所の発生予測手法の開発

火山地域、特に表層土が火山灰の堆積物であったり、表層付近に軽石層がある山腹斜面では、豪雨や地震により、表層崩壊が発生しやすい。このような斜面での表層土層の分布調査法を開発するとともに、山腹崩壊の発生メカニズムを明らかにし、山腹崩壊の発生予測手法を開発する必要がある。

(b) 火山地域における山腹崩壊および土石流の対策施設の設計法の開発

火山灰が表層に堆積している地域や軽石層が表層付近に分布している斜面では、豪雨や地震により山腹崩壊が発生し易く、土石流も流動化しやすい。このような地域に適した治山施設の設計法を開発する必要がある。例えば、治山ダムを土石流が流下する際には下流の洗掘が発生しやすいので、下流洗掘に対しては通常よりも安全な対策（例えば、水叩工を設置したり、計画堆砂勾配を通常よりも緩くする等）を講じる必要がある。

(8) シカの採食による林床植生の衰退による土壤浸食の予測と対策

(a) シカの採食による林床植生の衰退による土壤浸食の予測

最近、全国的にシカの生息数が増加しており、このため、シカの採食により林床植生が衰退し、豪雨時には山腹斜面で激しい土壤浸食が発生する。2004年7月には東京都奥多摩町の川乗山の山腹斜面が豪雨により浸食されて流出した土砂が下流の上水道の取水口を埋めたために上水道の供給が停止するという被害が発生した。このような土壤浸食を予測するためには、林床植生の被覆率、リターの被覆率を調査することが重要であるが、地上からの調査では時間がかかる。このため、広域を短時間で調査するための、航空レーザによる調査法の開発が必要である。

(b) 林床植生が衰退した斜面での土壤浸食対策工の開発

シカの採食による林床植生の衰退による土壤浸食を抑制する第一の手法は、林床植生を早急に回復させることである。このためには、シカの採食を防止するための防鹿柵を設置することが行われている。しかしながら、林床植生がほとんど消失してしまった箇所では植生の回復は遅い。このようなことから、早急に土壤浸食を抑制するための伏工、筋工等の森林内に施工することが適する土壤浸食対策工を開発する必要がある。

4.9.10 深層崩壊ならびに土砂ダムによる災害の現状と課題と対応

平成9年の針原川土石流、平成15年の水俣市における土石流、平成17年の鰐塚山山系における土石流災害などのように、近年、深層崩壊により大規模な土石流が発生して下流に甚大な被害が発生している。また、平成17年の宮崎県耳川では豪雨による深層崩壊により大規模な天然ダムが形成され、その後決壊した。平成23年9月には台風12号に伴う豪雨により紀伊半島を中心として多数の深層崩壊が発生して崩壊土砂の流下により多くの人命が失われ、人家等にも多大な被害が発生した。また大きな土砂ダムが17個形成され、そのうちの5個は決壊により下流の人家等に被害を与える危険性が特に高かったため、緊急調査とそれに基づく警戒避難および排水路の設置等の緊急対策が実施

され、その後、決壊を防止するための恒久的な対策が実施されている。

(1) 深層崩壊・土砂ダムの対策の現状

深層崩壊は一般に規模が大きい（土砂量が約 10 万 m³以上）ため、また発生箇所、発生時期、危険度の特定が困難であるために、深層崩壊を防止するためのハード対策は行われてきていらない。したがって、主な対策としては土地利用規制や斜面の変状が進行している時や豪雨の時の警戒避難などのソフト対策が主となる。このため、今後の課題としては、主として事前のソフト対策を進めるための、①深層崩壊の発生場所の予測手法、②深層崩壊の規模および影響範囲の予測手法、③深層崩壊の発生時刻、誘因についての研究開発が必要である。

深層崩壊により崩落した土砂が下流の河道に堆積して、河道を閉塞すると、土砂ダム（河道閉塞）が発生する。一方、崩落した土砂が土石流となって下流の渓流を流下する場合があり、これにより被害が発生する場合がある。

土砂ダム（河道閉塞）に関しては、平成 16 年 12 月の新潟県中越地震(M=6.8)では 5 箇所で土砂ダム（河道閉塞）が発生¹⁵⁾し、平成 20 年 6 月の岩手・宮城内陸地震では 15 箇所で土砂ダム（河道閉塞）が発生¹⁶⁾し、平成 23 年 8 月の紀伊半島大水害では土砂ダム（河道閉塞）が 17 箇所で発生¹⁷⁾した。これらについて（紀伊半島大水害では 5 箇所で）、土砂ダムの決壊等による下流への土石流や、洪水による被害（二次災害）を防止するために、緊急調査が実施されて下流への土石流や洪水による被害範囲が予測され、警戒避難が実施された。応急対策としては土砂ダム（河道閉塞）の決壊による被害を防止するために、仮排水路の設置やポンプによる排水等により湛水池の水位の低下がおこなわれ、さらにその後、本格的な排水路や砂防堰堤の設置等により恒久的な安定化が図られた。このように、土砂ダム（河道閉塞）について最近、地震や豪雨により多数発生しており、これに対して緊急調査、警戒避難、応急対策、恒久対策等も多数実施されてきており、二次災害の防止に効果を発揮している。このようなことから、今後とも発災後の早期の土砂ダム（河道閉塞）箇所の発見や二次災害の予測・監視手法の開発を進めるとともに無人化施工などの安全な施工に向けた技術開発を進める必要がある。

深層崩壊により発生した土石流としては平成 9 年の針原川土石流、平成 15 年の水俣市における土石流、平成 17 年の鰐塚山山系における土石流、平成 23 年 8 月の紀伊半島大水害における土石流災害などのように、近年、深層崩壊により大規模な土石流が発生して下流の人命、人家や道路等に甚大な被害が発生している。このような土石流流下による人家や道路等への直接的な被害の他に、その後の降雨により、渓流等に堆積した土砂が再移動して、土石流が発生して、被害の範囲を拡大する危険性も高い。このようなことから、深層崩壊による土石流の流下・堆積箇所については、深層崩壊発生後に、崩壊の拡大と不安定堆積土砂の再移動を防止するための、斜面安定工や土石流対策施設の設置が行われる。これらについては、緊急の警戒避難、応急対策、恒久対策がおこなわれてきている。今後の課題としては、深層崩壊の発生場所と崩壊土砂が土石流化する可能性が高い箇所の推定手法の開発、土石流堆積物の二次移動による災害の発生予測手法、土石流の規模が大きいため経済的な対策工法の開発が必要となる。主な課題としては次の事項がある。

(2) 深層崩壊の発生場所の予測法の開発¹⁸⁾

近年、(独) 土木研究所において、日本全国の深層崩壊と地質、第四紀の隆起量の関係を分析した¹⁹⁾上で、推定される深層崩壊の発生頻度を 4 段階に分類した日本全国の地図が作成された。さらに、前

述の①～⑦を参考に、過去の深層崩壊の発生状況、深層崩壊と関連性の高い微地形・地質構造の分布状況、勾配および集水面積から、深層崩壊の発生危険度を評価する「深層崩壊のおそれのある渓流抽出マニュアル（案）」が提案された。このように、地域スケール、流域スケールでは深層崩壊の発生危険度が徐々に評価できるようになってきたものの、現時点でも、表層崩壊で研究が進められているような、斜面単位で深層崩壊の危険度を評価する手法の開発はほとんどされていないのが現状である。

一方、近年、レーザ・プロファイラや空中電磁探査、人工衛星リモートセンシングなど新たな技術を用いて、従来得るのが困難であった詳細な表面地形、面的な地下構造、微少な地表面の変位などの情報が得られるようになってきている^{20),21),22)}。深層崩壊の発生場所の予測に関しても、これらの新たな技術を活用した研究も進められ始めている。

（3）深層崩壊の規模および影響範囲の予測手法の開発¹⁸⁾

これまで、深層崩壊の規模について、代表的な深層崩壊では詳細な調査が行われ、崩壊土砂量や崩壊幅といった規模に係わる調査が行われてきた。近年、過去の調査結果を踏まえて、深層崩壊の規模に関するデータが集約され、実態については徐々に把握されてきてはいる²³⁾。しかし、規模が特定されている深層崩壊は必ずしも多くはなく、規模を規定する要因に関する検討は十分に行われてきたとは言い難い。

また、流下範囲については、深層崩壊で生じた崩壊土砂が流動化・土石流化することなく直撃し被害が生じる現象、深層崩壊で生じた崩壊土砂が土石流化して流下する現象、深層崩壊による土砂が天然ダム（土砂ダム）を形成し、その天然ダム（土砂ダム）が決壊することにより生じた土砂・水が流下する現象など幅広い現象についての調査・研究が必要となる。これまで、流下現象ごとに、事例研究、数値計算手法に関する研究・技術開発が行われてきた^{24),25),26),27),28)}。その結果、影響範囲はある程度の精度で予測できるようになりつつある。また、崩壊土砂がどのような流下現象となるかを予測する技術（土石流化するか、天然ダム（土砂ダム）を形成するかなどを予測する技術）についてはある程度明らかになってきている。しかしながら、流下現象の詳細に関する研究（土石流ピーク流量や影響範囲など）については、十分な知見が得られておらず、さらなる研究が必要であるといえよう。

（4）深層崩壊の発生時刻の推定手法の開発¹⁸⁾

深層崩壊発生の主な誘因としては、豪雨、地震、および長期的な重力性の変形が挙げられる。このうち、豪雨については、降雨量と深層崩壊発生の関係の検討が重要であると考えられる。しかし、通常の表層崩壊や土石流の発生に関しては、統計的に崩壊・土石流の発生と降雨量の関係が検討されてきているものの、深層崩壊については、前述の通り、統計的な処理を行うに十分な事例が集まりにくいことなどから、そのような研究例はこれまで少なかったのが現状である²⁹⁾。しかしながら、2011年台風12号における災害では、多数の深層崩壊が発生し、発生時間の特定も進められつつあることから、今後この面での研究の進展が待たれる。また、地震による深層崩壊も同様で、地震動と深層崩壊の関係について十分な検討が行われていない。一方、重力性の変形による深層崩壊の発生に関しては、地すべり末端の崩落現象などを対象に、変位（変形）速度の時間変化から崩落発生時刻を予測する研究が進められている。

＜参考・引用文献＞

1)石川芳治ほか；2013年10月16日台風26号による伊豆大島土砂災害、砂防学会誌、66-5,p61-

72,2014

- 2) 海堀正博ほか : 2014 年 8 月 20 日に広島市で発生した集中豪雨に伴う土砂災害, 砂防学会誌, 67-4,p49-59,2014
- 3) 国土地理院 HP, 2014
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAII/h26-0816heavyrain-index.html>
- 4) 梅澤広幸, 澤田梨沙, 溜池綾, 石川芳治 : 平成 26 年 8 月豪雨による広島県で発生した土砂災害発生源の予測手法と対策の提案, 平成 28 年度砂防学会概要集, B-14-15,2016
- 5) 岩橋純子, 山岸宏光, 神谷泉, 佐藤浩 : 2004 年 7 月新潟豪雨と 10 月新潟県中越地震による斜面崩壊の判別分析,Landslides, 45-1,p1-12,2008
- 6) 鏡原聖史, 植田允教, 沖村孝 : 2014 年台風 11 号の豪雨によって六甲山系で発生した崩壊の特徴, 地盤工学会誌, 64-4,p4-7,2016
- 7) 丸谷知己ほか : 2017 年 7 月の九州北部豪雨による土砂災害, 砂防学会誌, 70-4,p31-42,2017
- 8) 国土交通省 HP,2017
http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_joho/teccforce/H29hokubugouu_data/171030siryou2-3.pdf
- 9) 国土地理院 HP,2017
<https://saigai.gsi.go.jp/3/20170726handokuzu/handokuzu.png>
- 10) 林野庁 : 「流木災害対策等に対する治山対策検討チーム」 中間とりまとめ, 2017.11
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/tisan/attach/pdf/171102-1.pdf>
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/tisan/attach/pdf/171102-5.pdf>
- 11) 海堀正博ほか : 平成 30 年 7 月豪雨により広島県で発生した土砂災害, 砂防学会誌, 71-4,49-60,2018
- 12) 笹原克夫ほか: 平成 30 年 7 月豪雨によって四国地方で発生した土砂災害, 砂防学会誌, 71-5,p43-53,2019
- 13) 林野庁 : 「平成 30 年 7 月豪雨を踏まえた治山対策検討チーム」 中間とりまとめ, 2018.11
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/tisan/181113.html>
- 14) 気象庁 : 地球温暖化予測情報第 9 卷, 2017.3
- 15) 新潟県土木部 ; 「新潟県中越大震災」による被害と復旧, 2004
- 16) 国土交通省東北地方整備局 : 岩手・宮城内陸地震発生から 1 年, 2009
http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/kisyah/kisyah/images/23867_1.pdf
- 17) 国土交通省近畿地方整備局 : 2011 年紀伊半島大水害国土交通省近畿地方整備局災害対応の記録, 2014
<https://www.kkr.mlit.go.jp/bousai/qgl8vl0000008ajd-att/kiihantou-kirokushi.pdf>
- 18) (社)砂防学会 : 深層崩壊に関する基本事項に係わる検討委員会報告・提言, 2012.3
- 19) 内田太郎・鈴木隆司・田村圭司 : 地質及び隆起量に基づく深層崩壊発生危険地域の抽出, 土木技術資料, Vol. 49, No. 9, p. 32~37.2007
- 20) 鈴木隆司・内田太郎・田村圭司 : 深層崩壊発生斜面の特定に向けた地盤構造調査法, 土木技術資料, Vol. 51, No. 7, p. 8~13.2009
- 21) Roering, J.J., Stimely, L.L., Mackey, B.H., and Schmidt, D.A.: Using DInSAR, airborne LiDAR, and archival air photos to quantify landsliding and sediment transport, Geophy.

Res. Lett., Vol. 36, L19402, DOI:10.1029/2009GL 040374.2009

- 22) 内田太郎・中野陽子・秋山浩一・田村圭司・笠井美青・鈴木隆司：レーザー測量データが表層崩壊発生斜面予測及び岩盤クリープ斜面抽出に及ぼす効果に関する検討，地形，Vol. 31, p. 385～401.2010
- 23) 田村圭司・内田太郎・武澤永純：歴史的大規模崩壊の実態，土木研究所資料 No.4169,2010
- 24) 中川 一・高橋 保・里深好文・立川康人・市川 温・吉田義則・中村行雄：平成 9 年鹿児島県出水市針原川で発生した土石流災害について，京都大学防災研究所年報,Vol.41,B-2,p.287～298,1998
- 25) 水野秀明・杉浦信男・寺田秀樹・内田太郎・原慎利幸・曾我部匡敏・桜井 亘・西本晴男・小山内信智・武澤永純・土井康弘：2003 年 7 月の梅雨前線豪雨によって発生した九州地方の土石流災害(速報)，砂防学会誌,Vol.56,No.3, p.36～43,2003
- 26) 里深好文・吉野弘祐・小川紀一朗・水山高久：天然ダムの決壊時のピーク流量推定に関する一考察，砂防学会誌, Vol. 59, No. 6, 55～59, 2007
- 27) 吉野弘祐・高濱淳一郎・水山高久・内田太郎・小川紀一朗：側岸崩落を考慮した天然ダム越流侵食過程における二次元シミュレーション，砂防学会誌, Vol.63, No.6, p. 52～58,2011
- 28) 西口幸希, 内田太郎, 石塚忠範, 里深好文, 中谷加奈：細粒土砂の挙動に着目した大規模土石流の流下過程に関する数値シミュレーション-深層崩壊に起因する土石流への適用, 砂防学会誌, Vol.64, No.3, p. 11～20,2011
- 29) 八反地 剛：降雨を起因とする深層崩壊の特徴—崩壊土量と遅れ時間の関係—. 砂防学会誌, Vol.55, No.6, p.74～77.2003

4. 10 気象変動に関連した近年の特異な風倒木の現状

平成 12 年度から平成 26 年の間に発生した気象災害別の森林災害被害状況を表 4. 10.1 に示す。風倒木は強風を伴う台風の来襲の増減に影響を受けるが、日本国内の森林災害の主要部分を占めており、気象災害による被害区域面積のうち約 58%を占めている（表 4. 10.1）。

表 4. 10.1 気象災害別森林災害被害状況（被害区域面積）

	風害	水害	雪害	干害	凍害	潮害	雹害	計
平成 12 年度	3,402	2,633	1,863	6,161	585	-	-	14,644
平成 13 年度	28	69	4,166	593	176	-	-	5,032
平成 14 年度	16,969	55	14,370	413	201	54	202	32,264
平成 15 年度	207	599	2,101	196	121	7	10	3,241
平成 16 年度	44,492	812	2,394	133	250	63	-	48,144
平成 17 年度	364	526	920	656	48	3	-	2,517
平成 18 年度	14,758	183	2,451	104	66	2	-	17,564
平成 19 年度	2,680	283	2,400	800	212	1	0	6,376
平成 20 年度	49	271	494	216	799	0	0	1,828
平成 21 年度	398	411	875	2,621	109	0	0	4,414
平成 22 年度	23	208	1,440	342	73	-	-	2,086
平成 23 年度	549	553	989	161	312	7	-	2,571
平成 24 年度	249	67	222	202	486	1	-	1,227
平成 25 年度	5,322	176	584	872	69	-	-	7,023
平成 26 年度	326	79	3,095	1,063	243	0	25	4,831
計	89,815	6,925	38,364	14,533	3,750	138	237	153,762

出典：森林国営保険事業統計

林野庁（2012）では、昭和 62 年から平成 8 年までの 10 年間の風倒木災害は、九州中部以南に集中し、九州のほとんどの市町村で過去 10 年間に 1 回以上の風倒木被害が発生していること、また、全国的に見ると、九州、山口、四国、紀伊半島、中部太平洋岸、房総半島、青森、秋田の地域が風倒木災害の発生が多く報告している。

近年、北海道にも頻繁に台風が上陸し、強風により、風倒木災害をもたらしている。特に、平成 28 年には、8 月 17 日～30 日の 2 週間に 3 つの台風（台風 7 号、9 号、11 号）が相次いで上陸、1 つの台風（台風 10 号）が最接近し、大きな被害が発生した（表 4. 10.2）。

表 4. 10.2 北海道の主な風倒木災害（出典：北海道水産林務部林務局森林整備課、2018）

年度	台風番号	被害区域面積
S29（1954）	15 号（洞爺丸台風）	742,000ha
H14（2002）	21 号	18,000ha
H16（2004）	18 号	37,000ha
H28（2016）	7 号、9 号、10 号、11 号	9,000ha

風倒木災害では、立木の根返り、幹折れ、幹曲がりなどの直接的な被害のほかに、風倒木災害が林地の崩壊を招き、土石流、流木の発生などにより下流地域に大きな被害をもたらす場合や樹勢衰弱に伴う病害虫の発生等の危険も増大するといった二次災害を招く危険性が高くなる。

今後、気候変動の影響により、台風の最大風速強度の増加と共に、強い台風の個数が増加する可能性が指摘されており、これは直接、森林の風倒木被害の増加につながると考えられる。

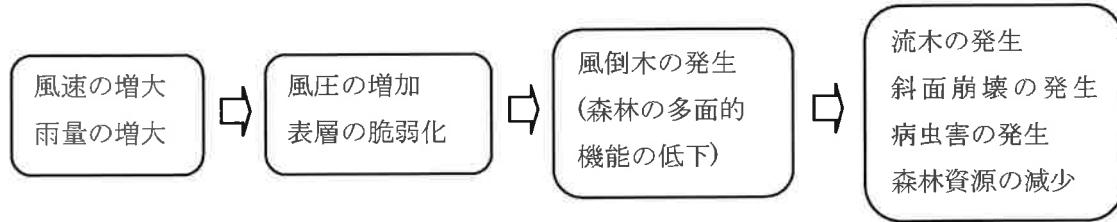


図 4.10.1 風倒木災害の時間的変化（出典：林野庁，2012）

<引用文献>

- 北海道水産林務部林務局森林整備課（2018）：風倒木被害のリスクを軽減する森林づくり
(<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/srs/riskdown.pdf>)
- 林野庁（2012）：平成23年度 気候変動に対応した森林の水土保全機能の向上方策検討調査報告書
- 農林水産省：森林国営事業統計

4. 11 令和元年房総半島台風（第 15 号）による千葉県内での風倒木被害の概要（石川芳治）

令和元年（2019 年）9 月 5 日に発生し、9 月 8 日～10 日に東日本の太平洋岸を襲った令和元年房総半島台風（第 15 号）（Typhoon Faxai）は関東地方に強風をもたらし、千葉県を中心として甚大な風倒木災害を発生させた（図 4.11.1）。台風 15 号の最低気圧は 955hPa で、最大風速は約 45m/s であった。

この台風による被害は、死者：3 名負傷者：150 名、全壊家屋 391 戸、半壊 4,204 戸、一部破損 72,279 戸、で被害総額は約 505 億円、停電したのは 93 万戸にのぼり、復旧が終わるまでに最長で約 1 ヶ月かかり、千葉県の社会・経済・生活に大きな被害を与えた。

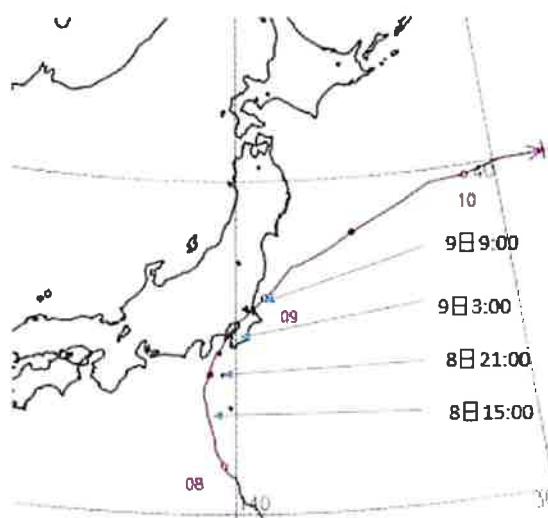


図 4.11.1 令和元年房総半島台風の経路

令和元年房総半島台風による最大風速の発生状況を図 4.11.2 に示す。表 4.11.1 に気象庁の観測所において観測された最大瞬間風速の第 1 位～9 位を示す。千葉県を中心として、静岡県、神奈川県の東部、東京都の島嶼部において観測史上第 1 位の強風を観測した。

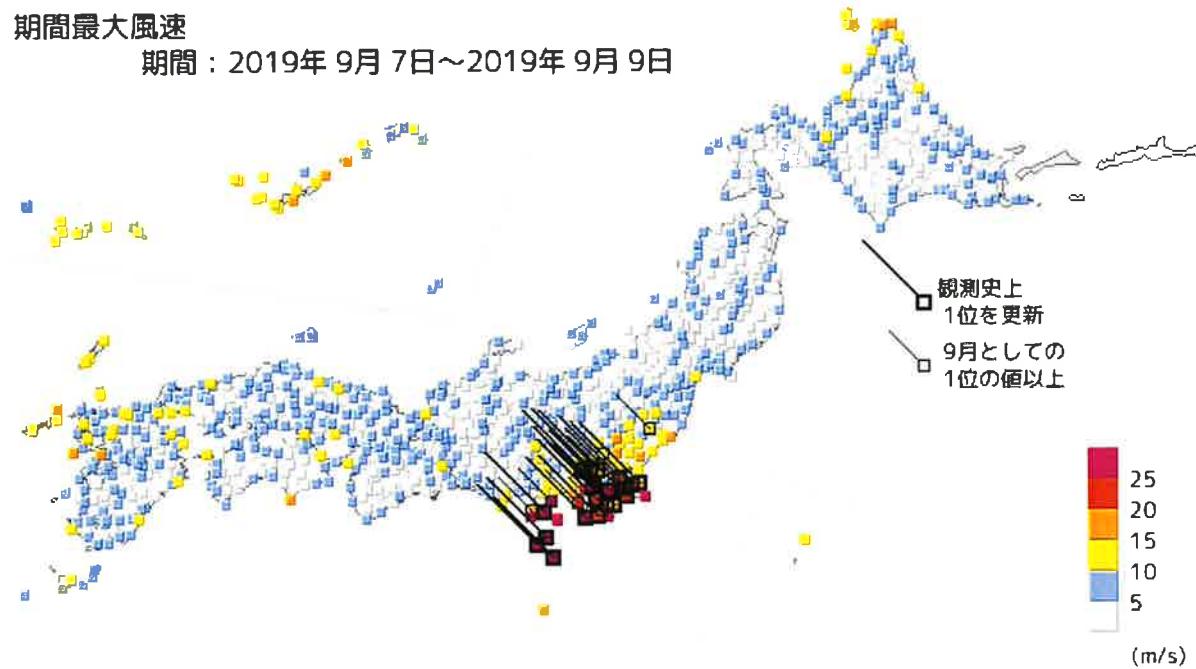


図 4.11.2 令和元年房総半島台風による最大風速の分布

表 4.11.1 より、東京都の島嶼部においても暴風が発生したが、千葉県においても記録的な暴風が発生した。なお、この台風による千葉県における最大 1 時間雨量は 70.0mm/hr（気象庁アメダス鋸南観測所）で、最大 24 時間雨量は 151.5mm/d（気象庁アメダス成田観測所）であり、この降雨に

より土砂崩れ等が発生したが、大きな被害には至らなかった。一方で、この暴風により、建物の倒壊や損壊、電柱の倒壊、風倒木、それらによる道路の通行止めや停電等の被害が発生した。

表 4.11.1 令和元年房総半島台風による最大瞬間風速

No.	観測所・日時	最大瞬間風速(m/s)
1	神津島（東京都、8日21:03）	58.1
2	千葉（千葉県、9日）	57.5
3	新島（東京都、8日23:38）	52.0
4	木更津（千葉県、9日2:48）	49.0
5	館山（千葉県、9日2:31）	48.8
6	三宅坪田（東京都、8日22:12）	48.4
7	稻取（静岡県、8日23:17）	48.3
8	大島（東京都、9日1:11）	47.1
9	成田（千葉県、9日5:36）	45.8

この暴雨により千葉県では主としてスギにおいて風倒被害が発生した。台風による風倒被害は、通常は図 4.11.3 に示すように、(i)幹折れ（図 4.11.3）、(ii)幹曲がり、傾倒（図 4.11.4）、(iii)根返り（図 4.11.5）の 3 タイプに分類される。またスギばかりではなく、広葉樹林も被害を受けている（図 4.11.6）。このような風倒木は森林に被害を与えるばかりでなく、電柱・電線に対して被害を与えた（図 4.11.7），道路の通行に被害を与える場合（図 4.11.8）もあり、市民生活に被害を与える伴に、災害復旧の実施の妨げにもなった。



図 4.11.3 幹折れ（千葉県、山武市）



図 4.11.4 幹曲がり、傾倒（千葉県、山武市）



図 4.11.5 根返り（千葉県、山武市）



図 4.11.6 広葉樹林の被害（千葉県、富津市）



図 4.11.7 電柱・電線への被害
(千葉県, 山武市)



図 4.11.8 道路の通行の障害
(千葉県, 山武市)

4.11.1 千葉県における風倒木被害の特徴

令和元年9月27日～28日に、学識経験者、林野庁、千葉県により台風15号による森林被害等についての緊急調査を行った^{1),2)}。千葉県における風倒木被害の特徴は次の通りである^{1),2)}。

- (i) 風倒木被害地は千葉県内に広く分布している。
- (ii) 個々の風倒木被害地の面積 1ha 前後と比較的小さい。
- (iii) 同じ森林内でも一部が局部的に風倒木の被害を受けている。線状に風倒木の被害を受けている事例が多い。これは、風速が局部的に強いため（風の通り道）と考えられる。
- (iv) 周辺の家屋の被害率が高い地域で風倒木の被害も大きい。家屋の被害率と風倒木被害率は相関がありそうである。
- (v) 千葉県には山武スギが広く分布している。この山武スギは非赤枯性溝腐病への罹患率が高くこのためスギの幹の強度が低くなっていたために幹折れしたと推定されるものもあったが、腐朽箇所以外で折れているものも、また根返りしているものもあり、溝腐病の有無と倒木との関係は複雑で不明確な部分もある。なお、溝腐病は山武スギ以外のスギやヒノキ、サワラでも溝腐病に罹病するが、罹病率は低い。
- (vi) 風倒木の被害形態からみると、大きくは、根返りと幹折れに分類されるが、場所により、根返りが多い地区と幹折れが多い地区がある。
- (vii) 根返りと幹折れの違いは、根と幹の相対的な強さおよび樹冠長率、形状比等により決まると考えられる。相対的に根が弱い場合には根返りが発生し、相対的に幹が弱い場合には幹折れが発生する。谷地の水田跡に生育した樹木では根返りが多く発生していたが、これは土壌が柔らかく、根張りの強度が低いためと考えられる。
- (viii) 林縁部の樹木は日照等が良いため、林内部と比較して、成長が良く、形状比が小さい。このため、林縁部の樹木は、林内部の樹木に比べて風倒木被害を受けにくい。
- (ix) 広葉樹はスギに比べて風倒の被害率は低いようであるが、広葉樹でも根返りや幹折れ（枝折れ）が発生している。
- (x) 急勾配の斜面（40度以上）で表層土が薄い（0.5m未満）場合には、根系が表層土とともに剥がれて、根返りが発生しやすい。

4. 11. 2 風倒木災害防止のための課題

- (i) 風倒木による道路や配電線への被害を防止・軽減するためには、道路や配電線に影響を及ぼす可能性が高い樹木については優先度を考慮しつつ、除去していくことが必要である。
- (ii) 間伐後 1～5 年程度の間は風倒木災害を受けやすいと言われている（間伐の効果が発揮される前であり、間伐により強風が通り抜け易くなるため）。長期的に見れば、形状比を過度に大きくしないために、間伐は必要と考えられる。
- (iii) 溝腐病を受けている山武スギは風倒木被害（幹折れ）を受けやすいと考えられるので、今後は溝腐病を受けている山武スギについては植え替え等の対策を行うことが望ましい。
- (iv) 急勾配の斜面における風倒木地、特に根返りの発生箇所では、今後の豪雨により土砂災害が発生する可能性があるので、モニタリングが必要である。また、土砂流出、流木等による災害発生リスクを踏まえて、必要に応じて土留工、治山ダム等のハード対策を実施することが必要である。

<参考文献>

- 1) 林野庁；台風 15 号の森林被害等の学識経験者による緊急調査について（概要）
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/saigai/joho/attach/pdf/20190907-6.pdf> (2019 年 10 月 11 日参照)
- 2) 林野庁；台風 15 号の森林被害等の学識経験者による緊急調査
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/saigai/joho/attach/pdf/20190907-5.pdf>
(2019 年 10 月 11 日参照)

4. 12 風倒木災害の現状と課題（川邊 洋）

4. 12. 1 はじめに

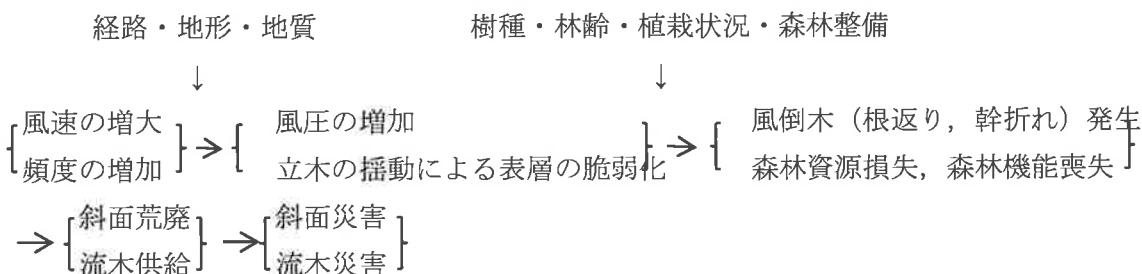
風倒木災害を引き起こす主な原因は台風である。地球温暖化に伴う巨大台風の発生頻度の増加と風速の激甚化が、風倒木災害の発生や規模にどのような影響を及ぼすのか、さらに風倒木災害跡地の荒廃と山地災害の発生にどのような変化を及ぼすのか、予測することは喫緊の課題である。

風倒木災害の原因としての台風の要因は、強さ、頻度、経路である。それぞれの経年変化を調べれば、近年の台風履歴の特徴が浮かび上がってくると思われる。例えば経路については、昭和 62 年から平成 8 年までの 10 年間の風倒木災害は、九州中部以南に集中しているが、近年、北海道にも頻繁に台風が上陸し、その強風が風倒木災害をもたらしているということも、経年変化の中で検証できるであろう。

風倒木災害の誘因は台風の強さ、頻度、経路であるが、災害の発生場所には素因とも言うべき要因がいくつかある。

- ・局地的な台風経路との位置関係・・・風向に影響
- ・地形・・・局所下降流などの発生に影響
- ・表層地質・・・立木の揺動による表層の脆弱化に影響
- ・樹種・林齡・植栽状況・・・根系の強度や耐風性に影響
- ・森林整備の有無・・・森林全般の健全性に影響

風倒木災害は森林災害であり、森林資源の損失、森林機能（防風、水源涵養、林地保全など）の喪失へと結びつく。風倒木災害地は、斜面安定に寄与する根系の喪失による斜面荒廃が進み、さらに山地災害へと発展する。また、根返り木や幹折れ木の流出は流木災害に結びつく。これらをまとめると、下図のように整理される。



以下では、平成 2 (1990) 年 9 月 19~20 日にかけて、和歌山県白浜町付近に上陸し、三重県・奈良県のほぼ県境に沿って北東に進行した台風 19 号（台風 9019 号）について、強風と森林被害の関係を中心に、今後の気象変動に伴う台風災害の考察に資することを目的に、調査結果を紹介する。

4. 12. 2 強風の実態

森林の風害は最大風速が大きいほど被害が大きく、また最大風速が同程度であれば、最大瞬間風速が大きいほど被害が大きいとされている。台風 9019 号は伊勢湾台風と同様なコースをたどり、最大風速は伊勢湾台風よりやや小さいが、最大瞬間風速はそれを上まわるような風台風であった。三重県尾鷲測候所における観測値は次の通りである。

最大風速： 台風 9019 号 : 22.0 m/s, 伊勢湾台風 : 28.1 m/s

最大瞬間風速： 台風 9019 号 : 56.1 m/s, 伊勢湾台風 : 51.5 m/s

尾鷲測候所における最大風速と最大瞬間風速の年最大値と超過確率を確率紙にプロットしたもののが図 4. 12.1 と図 4. 12.2 である。縦軸が超過確率 W 、横軸の x が対応する風速であり、 x_0 が対数変換した風速の平均値、 b が岩井法のパラメータである。台風 9019 号の最大風速が約 1/20 程度の超過確率で生じているのに対して、最大瞬間風速の超過確率は 1/250 程度であることがわかる。中心気圧の低下量からは、本台風は 80 年に 1 回程度の再現確率と算出されている。

寺田・近藤式による台風中心に直交する地点の最大風速は、図 4.12.3 のようになる。実線が台風上陸時（19 日 21 時）の進路に直交する点の最大風速、破線は 20 日午前 0 時の同様の最大風速である。横軸は発生時刻に対応する台風中心までの距離である。正（負）側は、台風の進行方向に向かつて東（西）側のデータに対応している。台風上陸前後の比較的早い時期の旋衡風の領域で最大風速が大きくなつたようであり、この領域で風害が発生しやすいと考えられる。

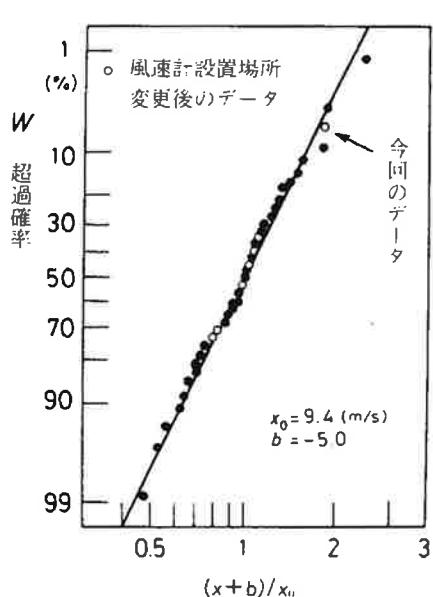


図 4.12.1 最大風速の年最大値と超過確率の関係

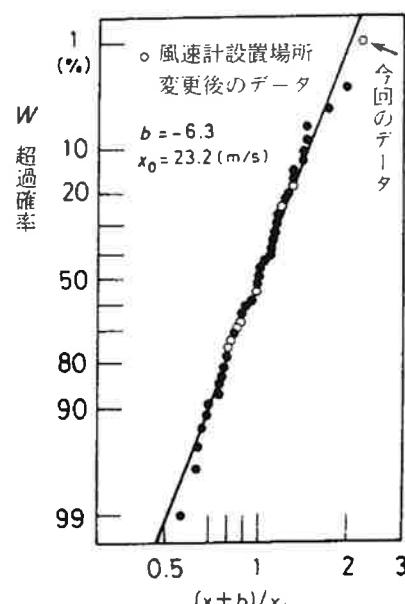


図 4.12.2 最大瞬間風速の年最大値と超過確率の関係

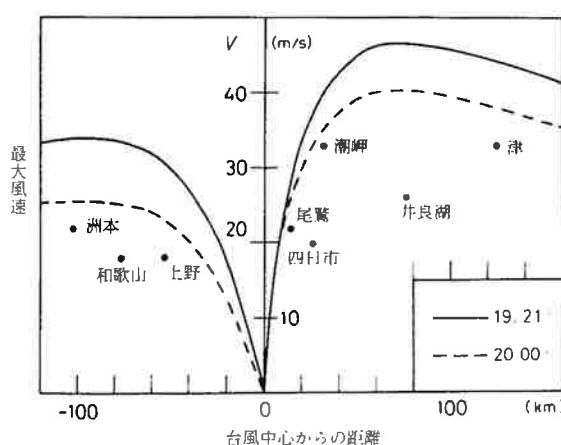


図 4.12.3 各気象官署における平均最大風速と台風中心からの距離の関係

4. 12. 3 地形と局所的森林被害

台風 9019 号による風害の大部分は、谷に沿って吹く強風により発生したものであった。尾鷲市矢ノ川地区では、局所下降流（ダウンバースト？）によるとみられる被害形態が見出された。台風による風が谷等の凹地を横断する場合に、谷内部の圧力の急激な下降により局所下降流が発生する。

被害林分は胸高直径が 20cm 程度のヒノキ林であり、完全な放射状の被害状況を示しているわけではないが、スポット状の四散した風害状況である（図 4. 12.4）。最大瞬間風速の風向はほぼ SE→NW であり、SE→NW 方向の地形断面の中で、風害地は凹凸の激しい山地の中の谷地形部に位置している。

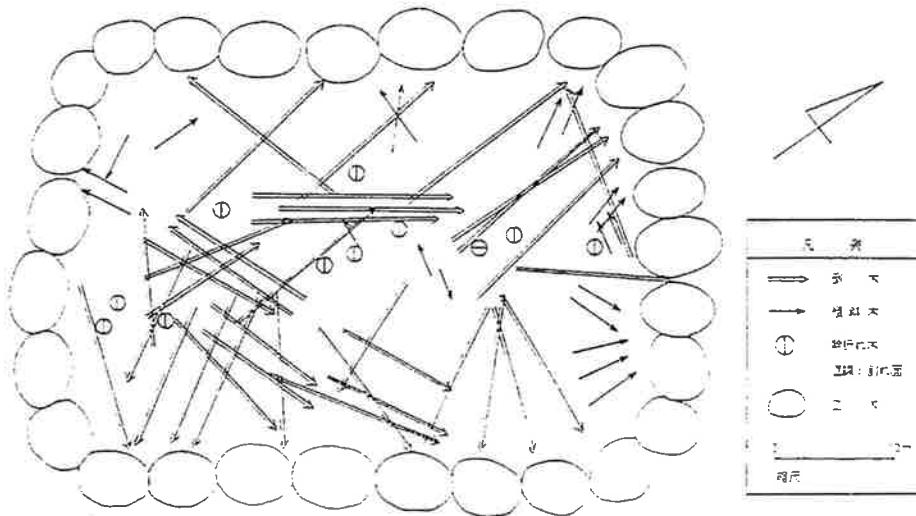


図 4. 12.4 調査地の被害状況

4. 12. 4 幹折れ被害の特徴

台風 9019 号により、三重県内では広範囲に森林被害が発生した。熊野市大泊のスギ林分で行われた幹折れ被害調査の結果、枝下高の高い林分での被害が顕著に高かった。樹高を T 、樹冠の長さを c としたときの c/T 比は、被害発生林分で 0.38、無被害林分で 0.49 であった。

幹折れの発生過程として、強風による林木の揺動で最初に縦割れが少し入り、これが進行して断面係数が小さくなつて幹折れに至るという過程が有力視される。幹折れの方向はほぼ一定の規則性を示し、風倒方向は割れの方向に直交している。したがつて、幹割れ面の方向から、風害時の局所的な風向が推定可能である。

この方法により、谷川に沿つた風害時の幹割れ面の方向から、谷地形に沿つた強風の流れが推定された。また、鞍部に向かって集中し、鞍部を越えた後、斜面を下方に吹き下ろす風の流れが推定された。

4. 12. 5 根返り発生の考え方

強風による根返りの発生を考える場合には、幹折れの発生と関連させて考える必要がある。ここで、図 4. 12.5 のような樹木を考える。強風による風力は、主に風向に直角な平面に対する樹冠の投影面積に及ぼす風圧の合力として表される。樹冠の外形を回転体のような対象形で代表させると、風力は樹冠の垂直中心線上にある樹冠内的一点（風心）に集中して作用するとみなしてよい。

風心に風力 F が作用すると、根系部には根返りを発生させようとするモーメント M_{BR} （根返り発生モーメント）が生じ、木の根元を不動点として、根返りが発生すると考えることができる。地上から風心までの高さを z とすれば、

根返り発生モーメント M_{BR} は次式で表される。

$$M_{BR} = Fz$$

この根返り発生モーメント M_{BR} に対して、根系部は土塊と根系によって抵抗力を示す。ここでは、この抵抗力を根返り抵抗モーメント M_R とする。

一方被害地では、根返りの他に幹折れも発生している。したがって、一本の樹木について、根返りを起こす場合の他に、幹折れを起こす場合も考える必要がある。風心に風力 F が作用すると、樹幹部の各断面には曲げ応力が働き、樹幹に最も幹折れしやすい点（幹折れ発生点）が生じる。この点で幹折れを発生させようとするモーメント M_{BT} （幹折れ発生モーメント）が働き、地上から幹折れ発生点までの高さを z_0 ($z > z_0$) とすると、幹折れ発生モーメント M_{BT} は、次式で表される。

$$M_{BT} = F(z - z_0)$$

この幹折れ発生モーメント M_{BT} に対し、樹幹部は幹折れ抵抗モーメント M_T を示す。

図 4.12.5 に示したような樹木に風力 F が作用した場合、 $M_R/M_{BR} > 1$, $M_T/M_{BT} > 1$ の状態にあるときは、根返り、幹折れ共に発生しないことになる。風力 F が増加すると、 M_R/M_{BR} , M_T/M_{BT} の値が変化し、どちらか先に 1 より小さくなつた方の被害が発生する。つまり、 $M_R/M_{BR} < 1$, $M_T/M_{BT} > 1$ のときには根返りが、 $M_R/M_{BR} > 1$, $M_T/M_{BT} < 1$ のときには幹折れがそれぞれ発生することになる。

ところで、被害を受けた根返り木の根系は、根と土塊が一体となっており、その根鉢の形状は、木の根元を中心としたほぼ半球面状を呈していることが観察された。したがって根返り木は、木の根元を不動点として、半径 r ですべりを伴った回転をすることによって転倒するものとみなされる。樹木の根量は、木の根元からの距離が増加するに従って減少するので、根返り剪断面の根系による抵抗力も、木の根元からの距離に伴つて減少することが考えられる。一方、木の根元からの距離が増すと根鉢が大きくなるので、土の自重による垂直応力は一般に増加し、仮想的な回転面におけるすべり抵抗力も増加する。根返り抵抗モーメント M_R は、すべり面の土塊と根系の抵抗力の総和のモーメントで与えられるであろう。したがって、この M_R はある半径で極小値を持つことになり、根返りはこの極小値となる半径 r の半球面に沿つて発生することになる。

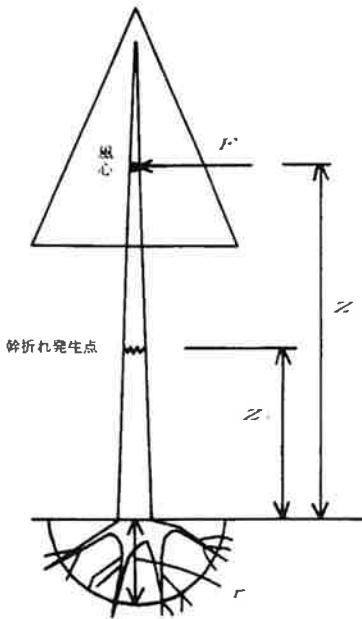


図 4.12.5 強風を受けた樹木

4.12.6 おわりに

例えば、豪雨による崩壊は、気候変動と山地災害が直接結び付き、気候変動を念頭に置いた治山対策の対象となる。一方、気候変動→風倒木災害→山地災害のように風倒木災害が間にいると、森林あ

るいは樹木は気候変動の被害者であると同時に、山地災害を引き起こす元凶ともなり得る。この場合の山地災害対策は、まず風倒木対策に注力することとして、森林整備により対応するのが適当と考えられる。

<参考文献>

- 林 拙郎・川邊 洋・野々田稔郎 (1993a) : 台風による倒木・幹折れ被害について, 41回
日林中支論, pp.127-130.
- 林 拙郎・川邊 洋・野々田稔郎・宮崎俊孝 (1993b) : 平成2年台風19号による三重県南部の森林
被害について(Ⅰ)－強風の実態と樹幹縦割れ面からの推定風向－, 日林論, No.104, pp.731-
734.
- 林 拙郎・川邊 洋・野々田稔郎・小島英嗣 (1994) : 台風9019号による森林被害について－局所
下降流による風害発生の可能性－, 42回日林中支論, pp.203-206.
- 野々田稔郎・林 拙郎・川邊 洋 (1993) : 平成2年台風19号による三重県南部の森林被害につい
て(Ⅱ)－根返りの発生機構－, 日林論, No.104, pp.735-738.
- 野々田稔郎・林 拙郎・川邊 洋 (1994) : 根系の引張強度と曲げ強度から推定した樹木根系の斜面
安定効果, 日林誌, Vol.76, No.5, pp.456-461.
- 野々田稔郎・林 拙郎・川邊 洋・本多 潔・小藪一志 (1996) : 樹幹引き倒しによる根返りの発生
機構, 日林誌, Vol.78, No.4, pp.390-397.

4. 13 近年の山地災害における治山施設の効果

林野庁（2015）では、以下の資料より治山施設が被災した過去の災害における土砂の発生源と到達距離、地形や地質、保全対象との関係及び災害発生時の気象等のデータを過去の災害事例から収集整理を行っている。

- ① 災害資料（被災状況等）や論文、調査報告書等
- ② 気象資料（災害時の降水量等）
- ③ 治山施設等の状況（土砂・流木の捕捉と被災実態等）

近年は地球温暖化に伴う異常豪雨等の発生により、災害事例は多く報告されているものの、治山施設が被災している事例は少なく、被災時の状況（雨量や災害規模等）まで詳細に調査が行われている事例はさらに少ない。林野庁（2015）では、条件に合致する事例として以下の4事例が報告されている。

表 4.13.1 治山施設が被災した災害事例収集結果（林野庁、2015）

ID	発生日時			発生箇所	降雨の状況		流域諸元		災害の規模		保全対象への影響	被災した治山施設の状況		
	年	月	日		原因	時間 雨量	日 雨量	流域面積	地質	崩壊 規模	土石流の 流下範囲	基数	状況	
1	H16	10	20	兵庫県 豊岡市 但東町 坂津地区	台風 23号	47	286	24.0ha	花崗岩	1300m2	源頭部から700m 谷出口から160m	農地の土 砂堆積 (人家無 し)	山腹工3基 谷止工2基	・No.1谷止工(下流):右袖部の破損・流失 ・No.2谷止工(上流):右袖部と堤体(1リフト分)の破損・流失
2	H21	8	9	兵庫県 佐用町 仁位地内	台風 9号	89	326	14.7ha	古生代付加 体(粘板 岩、混在 岩)	4000m2	源頭部から580m 谷出口から150m	農地の土 砂堆積 (人家無 し)	谷止工4基	・No.1谷止工(最下流):ほぼ天端まで埋塞、顯著な損壊は無い。 ・No.2谷止工(下流):放水路底面より上部の袖部が破損、流失 ・No.3谷止工(上流):全体的に埋塞、左岸袖部の渓岸は流亡。堤体下流面に縦、横方向の亀裂が生じる。 ・No.4谷止工(最上流):下流側基礎部が洗掘。堤体下流面は表面が削り取られた状態。袖部は両岸とも損壊。
3	H22	9	8	静岡県 小山町 ガラン沢	台風 9号	118	490		新第三紀 凝灰岩類 (表層は厚 いスコリア 層)	明瞭な崩 壊地は無 く、渠床 の洗掘	洪水被害のため 流下範囲不明	無し	床固工5基 帶工7基 (鋼製枠)	基礎部の洗掘により下流帯工の堤体が破壊し、上流側へと伝播
4	H19	8	2	大分県由 布市湯布 院町大字 川上字 佐土原	台風 5号	58	349				県道鳥越 湯布院線 に土砂流 出	谷止工3基	堤体のクラック発生等	

<引用文献>

林野庁（2015）：平成27年度治山施設長寿命化調査事業報告書（公表資料）

4. 14 気候変動に伴う気象現象の発生状況の現状に関する課題

気候変動に伴う気象現象の発生状況の現状についての整理結果より、それに関する課題を列挙する。

4. 14. 1 気象観測システム及び気象予報システムに関する課題

(1) 積乱雲

現状の観測システムでは、積乱雲については常時観測が可能であるが、積乱雲によってもたらされることがある竜巻はスケールが小さいため現在の気象レーダ解像度では監視が困難となっている。また、府県程度の拡がりのどこかで竜巻等をもたらす積乱雲が発達しやすい状況となることは、数日前から予測可能であるが、市町村程度の単位で発生場所や発生時刻を特定することは困難である。

(2) 集中豪雨

現状の観測システムでは、府県程度の拡がりのどこかで集中豪雨が発生しやすい状況となることは、数日前から予測可能で、低気圧や前線、地形に伴って発生するある程度規模の大きい線状降水帯の発生・停滞は1日前くらいから予測できる場合もある。しかし、市町村程度の単位で発生場所、時刻を特定することは困難である。また、線状降水帯の形成・停滞をはじめとする集中豪雨をもたらす現象のメカニズムの理解が不十分であり、数理予測技術にも改善の余地がある。

治山施設が設定される地域は標高の高い山岳地域にまで及ぶことが多く、そこで地上雨量計による観測を行う場合は強風による雨滴の捕捉率が低下する事に留意しておく必要がある。

(3) 台風

現状の観測システムは、進路予測は5日先まで行うことができたが、強度予報（中心気圧、最大風速等）についてはR02/9/9から5日先まで予測可能となった。台風接近に伴う広域避難を支援するためには、4日目以降の強度や、数日先までの台風及びその周辺域での広域な降水量の予測が求められているが、現在の予測システムがやっと利用可能となった。

4. 14. 2 気象現象の発生状況に関する課題

(1) 近年の台風の発生状況に関する課題

- ・東北や北海道での台風被害が多く発生するようになった。
- ・2019年の8月に連続して発生した台風7号、台風9号、台風10号、台風11号による被害や、2019年は9月の台風15号と10月の台風19号が連続して被害をもたらしたように影響期間の長期化や影響範囲の拡大、強風化などが見られるようになった。

(2) 近年の梅雨前線の発生状況に関する課題

- ・毎年に梅雨前線が発達する期間が異なる。
- ・日本全体でほぼ同時期に梅雨前線が発達する年もあれば、地域毎の発生時期に大きな違いがある年がある。
- ・線状降水帯の停滞期間の傾向として、梅雨期や台風期に多い。

(3) 近年の豪雨の発生状況に関する課題

- ・集中豪雨の他に局地的大雨も増えている。
- ・線状降水帯の停滞期間の傾向として、梅雨期や台風期に多い。

- ・東北や北海道での豪雨災害が多く発生するようになった。
- ・北海道における近年の線状降水帯は傾向として発生回数が増加しているが、線状降水帯が多く発生する地域には偏りがある。
- ・日降水量 200mm 以上の年間日数の経年変化は、トレンドとして 0.04(日／100 年)で増加している。
- ・時間降水量 50mm 以上の年間回数の経年変化は、トレンドとして 27.5 (回／10 年) で増加しているが、地域的に見ると静岡県中部域のようにトレンドが明確で無い地域もある。

4. 15 気候変動に伴う気象現象の予測手法の現状に関する課題

(1) 降水短時間予報システムの課題

- ・降水短時間予報システムの予測精度は近年向上し、大きな課題は無い。
- ・線状降水帯や局地的な豪雨の予報については精度の向上が望まれる。

(2) 土砂災害警戒情報システムの課題

- ・予測精度が悪い。2012年の国土交通省の資料によれば、2008年から2011年までの4年間の実績で、土砂災害警戒情報の「発表」に関する的中率は3.5%，見逃し率は24.9%であった。
- ・五十嵐ほか（2017）の研究成果によると、2015年9月の関東・東北豪雨の土砂災害警戒情報の「極めて危険」とされたメッシュ中で実際に土砂災害が発生したメッシュの的中率は0.488%と大変低い結果であった。
- ・土砂災害警戒情報の精度に関する国土交通省の発表では市町村単位での的中精度が高いことが強調されているがメッシュ単位での的中率の詳細情報は公開されていない。

<引用文献>

五十嵐孝浩ほか（2017）：土砂災害危険情報サービスによる判定結果と土砂災害発生実績の比較検討、
土木学会論文集B1（水工学），Vol.73, No.4, I_1363-I_1368.
国土交通省（2018）：「実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会」資料

(3) 極値解析による超過確率雨量の利用の課題

- ・1箇所の雨量観測所の観測データを用いた極値解析で異常豪雨を推定することは難しい。

(4) 気象予測データベース d4PDF の利用の課題

- ・特定の分野では試行的に利用の検討がなされているが、まだ、本格的に利用された実績は無い。

4. 16 土砂災害の現状に関する課題

(1) 全般的な課題

- ・集中豪雨や線状降水帯の発生などにより広域の土砂災害が頻繁に発生している。
- ・東北や北海道での豪雨災害が多く発生するようになった。
- ・1982年(S57)以降の土砂災害の発生件数は年によるバラツキが大きく、全体的な傾向は見られないが九州北部豪雨などがあり2018年(H30)が特に多かった。その次に中越地震や台風23号災害が発生した2004年(H16)が土砂災害件数の多い年であった。
- ・過去20年間程度の山地災害情報を管理していると回答した都道府県は全20県中8県で、残り12府県は管理していなかった。
- ・近年の土砂災害が増加している実感があると回答した都道府県は全20県中15県と多かった。
- ・災害外力のレベルに応じた対応の必要性。

表 4. 16.1 災害外力の程度に応じたレベル区分 (日本学術会議, 2011より)

レベル区分	災害外力の程度
1	洪水などの頻度や規模は増大しているが、従来の社会的認識の範囲内にあり、従来型の取組みで対応可能。ハード主、ソフト従、行政が主。
2	洪水などの頻度や規模が相当程度に増大しており、過去発生した最大級のものの範囲内にはあるものの、適応策の実施には相当の困難を伴う。現在のあらゆる知見や技術などを総動員して対処する必要があるが、従来の認識の延長線上にある。
3	複数の要因が絡み合った相乗効果(例えば洪水と土砂災害)や社会システムの破綻などにより、被害が加速度的に拡大する。適応策として新たなソフト&ハードの技術開発が必要。
4	全く未経験のゾーン。経済活動や産業活動の長期間停止などの極めて甚大な影響。政治的な不安定、緊張。国、社会全体としての長期にわたる事前の対処が不可欠。

(2) 火山灰堆積地帯における土砂移動現象に関する研究と土砂災害対策の推進

伊豆大島のような地質および地形的な特徴を持つ火山灰堆積地域は我が国には広く分布しているため、そのような地域では今後も同様の災害が発生する可能性が高い。このため、①火山灰堆積地帯における土砂移動現象に関する研究(斜面崩壊、泥流型土石流の発生、流下、堆積機構)を推進するとともに、②それらの土砂移動現象の特性を踏まえたハードおよびソフト対策を進展させる必要がある。具体的には、火山灰地帯の地形の特性、火山灰の土質特性、火山灰堆積地帯の水文特性を踏まえた斜面崩壊の発生予測(場所、規模、時刻)と斜面崩壊土砂が泥流型土石流に変化する過程、泥流型土石流の流下・氾濫特性などを明らかにする必要がある。さらに、これらの斜面崩壊を効果的に防止する手法、流動性が高く、巨礫を含まない泥流型土石流の効果的な捕捉施設、導流施設の設計方法を開発すると共に、泥流型土石流の氾濫範囲の精度の高い予測手法を開発する必要がある。

(3) 局地的で希な豪雨による土砂災害の予測手法の開発と対応の検討

最近大きな被害を出した土砂災害における超過確率雨量は、対象とする降雨期間により異なるものの、いずれも100年を超えて、大部分は数百年以上となっている。このような希な豪雨、極端な気象現象が多発している原因としては地球温暖化の影響が指摘されており、今後とも発生する可能性は極めて高い。従来の土石流・流木対策計画では一般に100年超過確率雨量に対応する土砂量や流量を基

にハードおよびソフト対策を検討してきている。しかしながら、100年超過確率を超える規模の土石流・流木が全国各地で毎年のように発生していることを考慮すると、これを超えるような規模の土石流・流木災害についても何らかの対策を検討して講じていく必要があると考える。具体的には、従来の100年超過確率雨量を対象とするハード対策、ソフト対策とは別に、特に優先度が高い地域については、数百年超過確率雨量規模の土石流・流木災害を想定した、①基本的な機能を喪失することのない対策施設の設計と設置、②被災度が分かる精度の高いハザードマップの作成手法の検討、③局地的に希な豪雨に対する警戒避難体制の検討等を実施していく必要がある。特に、ハザードマップの作成においては、火山灰堆積地域における開析が進んでいない地形特性、泥流型土石流の流下・氾濫特性、橋梁等における流木の閉塞による流路外への土石流の氾濫について考慮すると共に、適切な斜面崩壊規模の想定に基づいた土砂量の想定が重要である。

(4) 0次谷対策の必要性

土石流対策として、比較的小規模な崩壊である源頭部の対策を行うことが有効な手段と考える。今回判読した地域では、判読域の全0次谷のうち約半数で崩壊が発生し、そのほとんどが土石流化しているため、0次谷内の崩壊対策を実施することで、半数程度の土石流を防止することができるのではないかと考える。また、対策箇所は主に区分Iのうち、特に区分aの箇所が最重要地と考える。0次谷における斜面崩壊の段階では、土砂量は少ないので下流に比べて小規模な施設で土石流への発達や拡大を防止・抑制できて効率的である。ただし、全0次谷数、面積共に膨大な数量となるため、山地災害危険地区を重ね合わせた判読域の絞込みや、土砂移動停止の要因がある渓流、下流での既対策の有無を考慮して重要度を決定することが必要である。

(5) 航空レーザ測量を用いた微地形解析による崩壊発生箇所、土砂災害発生箇所の予測技術の開発

レーザ・プロファイラを用いた地形計測技術の開発により微地形解析が面的に精度良く実施可能になってきており、災害後の崩壊発生位置や形状、土石流の流下経路の侵食・堆積の状況、流路の周辺や林地斜面内での不安定化傾向などがかなり詳細に読み取れるようになってきている。これらの成果をもとに土砂災害の発生場所、形の予測手法の精度向上等の研究開発を進め、適切なハードおよびソフト対策の検討に反映させる必要がある。

(6) 土石流扇状地における宅地開発の規制と土砂災害特別警戒区域の指定と公表

土石流扇状地の宅地開発の規制が必要であり、そのためには全国的に進められている土砂災害特別警戒区域、土砂災害警戒区域の指定と公表が必要と考えられる。

(7) 局地的な豪雨に対する短時間予測の精度向上と避難勧告の迅速な発令

豪雨の短時間予測は警戒避難の判断において重要であるが、予測技術はいまだ十分ではない。このため局地的な豪雨に関する短時間予測の精度向上が必要である。

(8) ハード対策の推進

ソフト対策だけでは、人命、人家やライフラインに対する被害を防止・軽減することはできない。人命が守られたとしても、被災後のコミュニティや生活の場の復旧には多大な費用と長い時間がかかり、被災者に多大な影響を与えることとなる。そのような影響を軽減するためにはハード対策を推進

して人命、人家やライフラインを保全することが重要である。

(9) ソフト対策の強化

激甚化する豪雨災害に対して、治山施設の整備に関する対策（ハード対策）だけで、その予防を全て行なうことは困難であり、事前防災・減災対策の観点からも警戒避難体制に関する対策（ソフト対策）が強化されることが重要となっている。治山対策においても関係機関や地域住民と連携しつつ、都道府県及び市町村が地域防災計画に基づいて実施する警戒避難体制の整備に貢献するソフト対策を積極的に推進する。

(10) 巨石や土石流への対策

航空レーザ計測等を通じて把握した巨石が渓流内や周辺林地に堆積している箇所においては、その流下に伴う直接的な被害や土石流の発達を防止するため、施工条件や施設の維持管理条件、対策の緊要性を勘案して、ロープネット・ワイヤーネットの固定等による落石予防工、落石防護工（高エネルギー吸収柵式）、巨石流下にも対応した治山ダム等の設置を検討する。なお、渓流内に、流下するおそれのある巨石がある箇所は、治山施設の整備と併せて巨石を小割して埋戻し等に使用するなどの処理を検討する。

また、今後、激甚な豪雨災害による巨石等を含んだ土石流による流下外力が増大するリスクが高まっていることから、巨石等の流下のおそれが確認できる箇所において施工する治山ダムについては、衝撃力等の外力に対する強度を適切に有するように、天端厚の確保や鉄筋の挿入、背面への盛り土等による袖部の補強を行う。さらに、巨石等を含んだ土石流の流下量、流下エネルギーを勘案した高さと厚さを持つ治山ダムを設置するほか、既設治山ダム等に不安定な土砂、巨石、流木が異常堆積している場合には、当該土砂等を排土・除去（除石、流木撤去等）する。

(11) 脆弱な地質地帯における山腹崩壊等対策

火山噴出物、崖錐堆積物等の脆弱な地質地帯では、地下水の上昇により土層が著しく飽和し、山腹崩壊が発生して崩壊土砂・土石により直下の人家等に被害を与えることになる。このため、脆弱な地質地帯においては、森林の山地災害防止機能を最大限に発揮するため、土砂流出防備保安林、土砂崩壊防備保安林及び落石防止保安林（以下「土砂流出防備保安林等」という。）の適正な配備とともに、指定施業要件を適切に定め、山腹斜面の非皆伐施業を進める。また、間伐等による森林の適切な密度管理を行い、根系や下層植生の発達を促すとともに、立木間に根系による土壤の縛縛効果等が及ばない「すき間」が生じるおそれがある場合は、当該林分の後継樹ともなり得る木本類を導入し、森林の山地災害防止機能を持続的に発揮させる。さらに、近年では森林の有する山地災害防止機能の限界を超えた災害が頻発化していることも踏まえ、直下に人家等の保全対象が近接する箇所においては、保安林の適正な配備や森林の整備と一体的に、斜面の安定性を向上させる補強土工、表面侵食の防止や土砂の移動を抑制するための土留工や柵工、山腹斜面が集水地形であるときは水路工、湧水等が確認される場合は暗渠工等の山腹工をきめ細かく施工することなどを積極的に検討する必要がある。また、根系の到達しない風化層内の崩壊が予想される場合には、崩壊が予想される層とその下の岩盤等を結つけるためのアンカー工や杭工についても現場に応じて採用することも考えられる。このような山腹斜面においては、降雨時に異常出水や地下水の流出等がないか、情報を収集しておくことも重要である。このほか渓流部における脆弱な地質地帯においては、渓岸・渓床の侵食が進むことから、

治山ダムを階段状に設置し、侵食を防止する。

なお、山頂尾根部の崩壊発生源の復旧に当たっては、重機・資材搬入の制約などが想定されることから、必要に応じて航空緑化工を採用するなど、現地の施工条件に応じた効果的な復旧に努めることとする。

(12) 深層崩壊の発生場所の予測法の開発

近年、(独)土木研究所において、日本全国の深層崩壊と地質、第四紀の隆起量の関係を分析した¹⁹⁾上で、推定される深層崩壊の発生頻度を4段階に分類した日本全国の地図が作成された。さらに、過去の深層崩壊の発生状況、深層崩壊と関連性の高い微地形・地質構造の分布状況、勾配および集水面積から、深層崩壊の発生危険度を評価する「深層崩壊のおそれのある渓流抽出マニュアル(案)」が提案された。このように、地域スケール、流域スケールでは深層崩壊の発生危険度が徐々に評価できるようになってきたものの、現時点でも、表層崩壊で研究が進められているような、斜面単位で深層崩壊の危険度を評価する手法の開発はほとんどされていないのが現状である。

一方、近年、レーザ・プロファイラや空中電磁探査、人工衛星リモートセンシングなど新たな技術を用いて、従来得るのが困難であった詳細な表面地形、面的な地下構造、微少な地表面の変位などの情報が得られるようになってきている^{20),21),22)}。深層崩壊の発生場所の予測に関しても、これらの新たな技術を活用した研究も進められ始めている。

<引用文献>

- 1) 林野庁：「平成30年7月豪雨を踏まえた治山対策検討チーム」中間とりまとめ、2018.11
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/tisan/181113.html>
- 2) (社)砂防学会：深層崩壊に関する基本事項に係わる検討委員会報告・提言、2012.3
- 19) 内田太郎・鈴木隆司・田村圭司：地質及び隆起量に基づく深層崩壊発生危険地域の抽出、土木技術資料、Vol. 49, No. 9, p. 32~37.2007
- 20) 鈴木隆司・内田太郎・田村圭司：深層崩壊発生斜面の特定に向けた地盤構造調査法、土木技術資料、Vol. 51, No. 7, p. 8~13.2009
- 21) Roering, J.J., Stimely, L.L., Mackey, B.H., and Schmidt, D.A.: Using DInSAR, airborne LiDAR, and archival air photos to quantify landsliding and sediment transport, Geophys. Res. Lett., Vol. 36, L19402, DOI:10.1029/2009GL_040374.2009
- 22) 内田太郎・中野陽子・秋山浩一・田村圭司・笠井美青・鈴木隆司：レーザー測量データが表層崩壊発生斜面予測及び岩盤クリープ斜面抽出に及ぼす効果に関する検討、地形、Vol. 31, p. 385~401.2010

4. 17 流木災害の現状に関する課題

(1) 一般的な課題

- 大きな被害をもたらした流木灾害は、昭和13年から昭和64年で4回、平成元年から平成10年で3回、平成11年から平成20年で5回、平成21年から平成30年で7回と増加傾向にある。
- 森林蓄積は年々増加しており、流木灾害のリスクは増加している。
- 流木の発生、流下、堆積状況の実態、流域内収支等について総合的に調査した事例は少ない。
- 流木発生と流域特性との具体的な因果関係について検討した事例が少ない。
- 森林整備による効果の限界。
- 土砂は施設で捕捉されるが、流木は洪水時や掃流区間において、水面付近を浮いた状態で流下し、下流まで流出する傾向があるため、危険渓流、危険地区として抽出されていなかった地区でも家屋等の被害を受ける。
- 流木灾害の激甚化、多様化→予測が困難、情報伝達や避難行動が間に合わない
- 大規模洪水時の流木流出の管理技術が必要。

表 4. 17.1 流木の発生原因の形態

発生場所	流木の起源	流木の発生原因と形態	素因
発生区域	立木の流出	斜面崩壊の滑落に伴う立木の滑落	多量の降雨 崩壊の発生 火山噴火
		土石流発生に伴う立木の滑落	
		雪崩発生に伴う立木の滑落	
流下・堆積区域	倒木の発生	火山の噴火に伴う爆風による倒木の発生	渓岸・渓床侵食 侵食範囲に生育する立木 倒木の存在
	立木の流出	土石流の流下に伴う渓岸・渓床侵食による立木の流出	
		病害虫や台風等により発生した倒木等の流出	
		過去に流出して河床上に堆積したり、河床堆積物中に埋没していた流木の再移動	
	倒木等の流出	雪崩の流下に伴う倒木の下流への流出	
		火山噴火に伴う倒木の下流への流出	

(参照：石川芳治、「渓流における流木の発生、流下と災害」、水利科学第38巻1No.216,1994)

流木の発生原因	箇所数	割合
谷頭部崩壊、土石流流下	36	67%
沢抜け、土石流流下	7	13%
風倒木地崩壊、流下	5	9%
渓岸崩壊、流下	4	7%
河岸の大規模崩壊	2	4%
計	54	100%

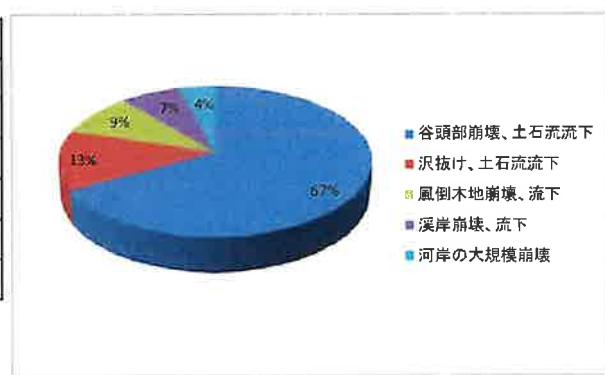


図 4. 17.1 流木の発生原因

(出典：平成26年度 流域山地災害等対策調査（流木灾害対策手法検討調査）委託事業 報告書)

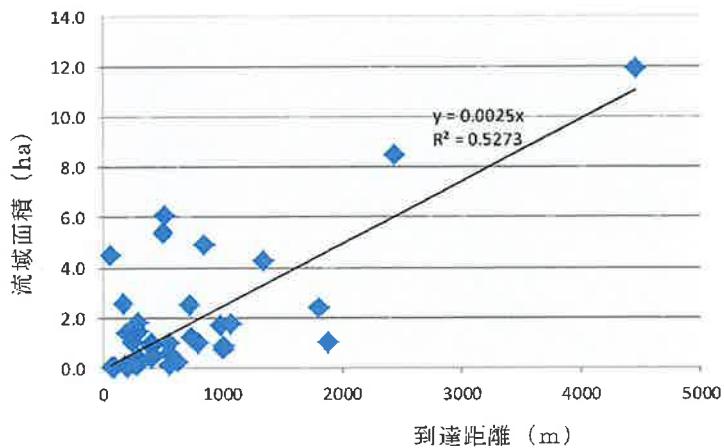


図 4.17.2 流木の到達距離と流域面積（林野庁, 2014）

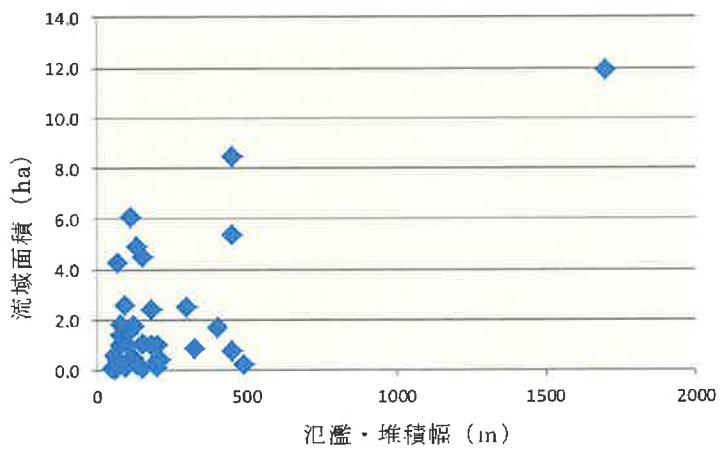


図 4.17.3 流木の氾濫・堆積幅と流域面積（林野庁, 2014）

(2) 流木の発生・流下・堆積機構の解明と流木対策のさらなる推進

流木の発生・流下・堆積機構には不明な点も多く、その予測手法も十分ではない。このため、今後とも①流木の発生・流下・堆積およびそれらの予測に関する研究を推進する必要がある。大金沢では本川と右支川の堆積工に鋼製透過型堰堤が設置されていたために流木が捕捉され下流の被害を軽減した。このように流木対策は実施すれば効果は明確に表れるものであり、さらなる推進が必要である。②流木対策の推進にあたっては、上・中流域における流木の発生抑止、透過型堰堤等による流木捕捉、さらに下流の流路部・橋梁部の構造の改良による閉塞の軽減対策等も合わせて推進する必要がある。また、③ハザードマップの作成に当たっては流木による橋梁の閉塞による流路外への氾濫を考慮する等の検討が必要である。

(3) 山腹崩壊の防止による土砂・流木の発生抑制

土石流・流木の発生源の多くは山腹崩壊と土石流の流下に伴う渓床、渓岸の浸食・崩壊である。また、土石流の発生の多くは山腹崩壊に起因しているため、このような災害を抑制するためには山腹崩壊を抑制することが重要である。

(4) 土石流の発達、流下にともなう土砂・流木の発生抑制

土石流はその流下に伴って、渓床・渓岸を浸食して渓岸崩壊を助長することにより、土砂量や流木量を増加させる。このような土石流の流下に伴う土砂量や流木量の増加を防止することが災害を抑制するためには重要である。

(5) ソフト対策の強化

激甚化する豪雨災害に対して、治山施設の整備に関する対策（ハード対策）だけで、その予防を全て行なうことは困難であり、事前防災・減災対策の観点からも警戒避難体制に関する対策（ソフト対策）が強化されることが重要となっている。治山対策においても関係機関や地域住民と連携しつつ、都道府県及び市町村が地域防災計画に基づいて実施する警戒避難体制の整備に貢献するソフト対策を積極的に推進する。

4. 18 風倒木災害の現状に関する課題

(1) 風倒木の現状の課題

- ・近年、北海道にも台風が頻繁に上陸し風倒木被害をもたらしている。
- ・風倒木被害には地域的に被害が多発する地域がある。
- ・平成 12 年から平成 26 年までの年間の風倒木災害の被災面積は年によるバラツキが大きく、全体的な傾向は見られない。
- ・風倒木は、以下のような地形的特徴を有する箇所で発生しやすいといわれている（川口、1960）。

大地形的特徴

- ① 大きい山岳あるいは山脈の風全面
- ② 円錐形の山の中腹山麓地帯
- ③ 風前の高い山からの吹きおろし風を強く受けるところ
- ④ 暴風方向と一致した広く長い渓谷
- ⑤ 山脈の風上斜面を流下する川沿い
- ⑥ 山脈の風下斜面の高所
- ⑦ 平坦な台地

局所地形としては、

- ⑧ 風に向かった急斜面
- ⑨ 風前斜面にある窪地地形
- ⑩ 鞍部とくに風前の部分
- ⑪ 山頂の平坦部
- ⑫ 風に向かった谷筋
- ⑬ 風通りのより平坦面

以上の地形的特徴は、強風を直接受けるかまたは、地形上風が集中し加速されるような場所であると一般的には解釈できる。

(2) 風倒木への対応の課題

- ① 風倒木による道路や配電線への被害を防止・軽減するためには、道路や配電線に影響を及ぼす可能性が高い樹木については優先度を考慮しつつ、除去していくことが必要である。
- ② 間伐後 1~5 年程度の間は風倒木災害を受けやすいと言われている（間伐の効果が発揮される前であり、間伐により強風が通り抜け易くなるため）。長期的に見れば、形状比を過度に大きくしないために、間伐は必要と考えられる。
- ③ 溝腐病を受けている山武スギは風倒木被害（幹折れ）を受けやすいと考えられるので、今後は溝腐病を受けている山武スギについては植え替え等の対策を行うことが望ましい。
- ④ 急勾配の斜面における風倒木地、特に根返りの発生箇所では、今後の豪雨により土砂災害が発生する可能性があるので、モニタリングが必要である。また、土砂流出、流木等による災害発生リスクを踏まえて、必要に応じて土留工、治山ダム等のハード対策を実施することが必要である。

4. 19 近年の山地災害における治山施設の効果に関する課題

- ・治山ダムで土砂流出を抑制している事例や流木を捕捉している事例は確認されているが、治山施設そのものが被災する事例が多い。

表 4. 19.1 治山施設が被災した災害事例収集結果（林野庁、2015）

ID	発生日時			発生箇所	降雨の状況		流域諸元		災害の規模		保全対象への影響	被災した治山施設の状況		
	年	月	日		原因	時間雨量	日雨量	流域面積	地質	崩壊規模	土石流の流下範囲	基数	状況	
1	H16	10	20	兵庫県豊岡市但東町坂津地区	台風23号	47	286	24.0ha	花崗岩	1300m2	源頭部から700m 谷出口から160m	農地の土砂堆積 (人家無し)	山腹工3基 谷止工2基	・No.1谷止工(下流)：右袖部の破損・流失 ・No.2谷止工(上流)：右袖部と堤体(リフト分)の破損・流失
2	H21	8	9	兵庫県佐用町仁位地内	台風9号	89	326	14.7ha	古生代付加体(粘板岩、混在岩)	4000m2	源頭部から580m 谷出口から150m	農地の土砂堆積 (人家無し)	谷止工4基	・No.1谷止工(最下流)：ほぼ天端まで埋塞、顯著な損壊は無い。 ・No.2谷止工(下流)：放水路底面より上部の袖部が破損、流失 ・No.3谷止工(上流)：全体的に埋塞。左岸袖部の渓岸は流亡。堤体下流面に継、横方向の亀裂が生じる。 ・No.4谷止工(最上流)：下流側基礎部が洗掘。堤体下流面は表面が削り取られた状態。袖部は両岸とも損壊。
3	H22	9	8	静岡県小山町ガラン沢	台風9号	118	490		新第三紀凝灰岩類 (表層は薄く、深床の洗掘)	明瞭な崩壊地は無 流下範囲不明	洪水被害のため 流下範囲不明	無し	床固工5基 帶工7基 (鋼製枠)	基礎部の洗掘により下流帯工の堤体が破壊し、上流側へと伝播
4	H19	8	2	大分県由布市湯布院町大字川上字佐土原	台風5号	58	349				県道鳥越湯布院線に土砂流出	谷止工3基	堤体のクラック発生等	

<引用文献>

林野庁 (2015) : 平成 27 年度治山施設長寿命化調査事業報告書 (公表資料)

林野庁 (2014) : 平成 26 年度流域山地災害対策調査 (流木災害対策手法検討調査) 委託事業報告書

5. 関連分野での新しい技術の利用に関する現状と課題の整理

5.1 空間情報技術の利用に関する現状と課題の整理

5.1.1 土砂災害の予測や軽減に利用する空間情報技術の現状

- ESRI ジャパンでは、国土数値情報が提供している土砂災害危険箇所、土砂災害危険ライン、土石流、地すべり、急傾斜地の崩壊、浸水想定区域を ArcGIS Online で配信されている。

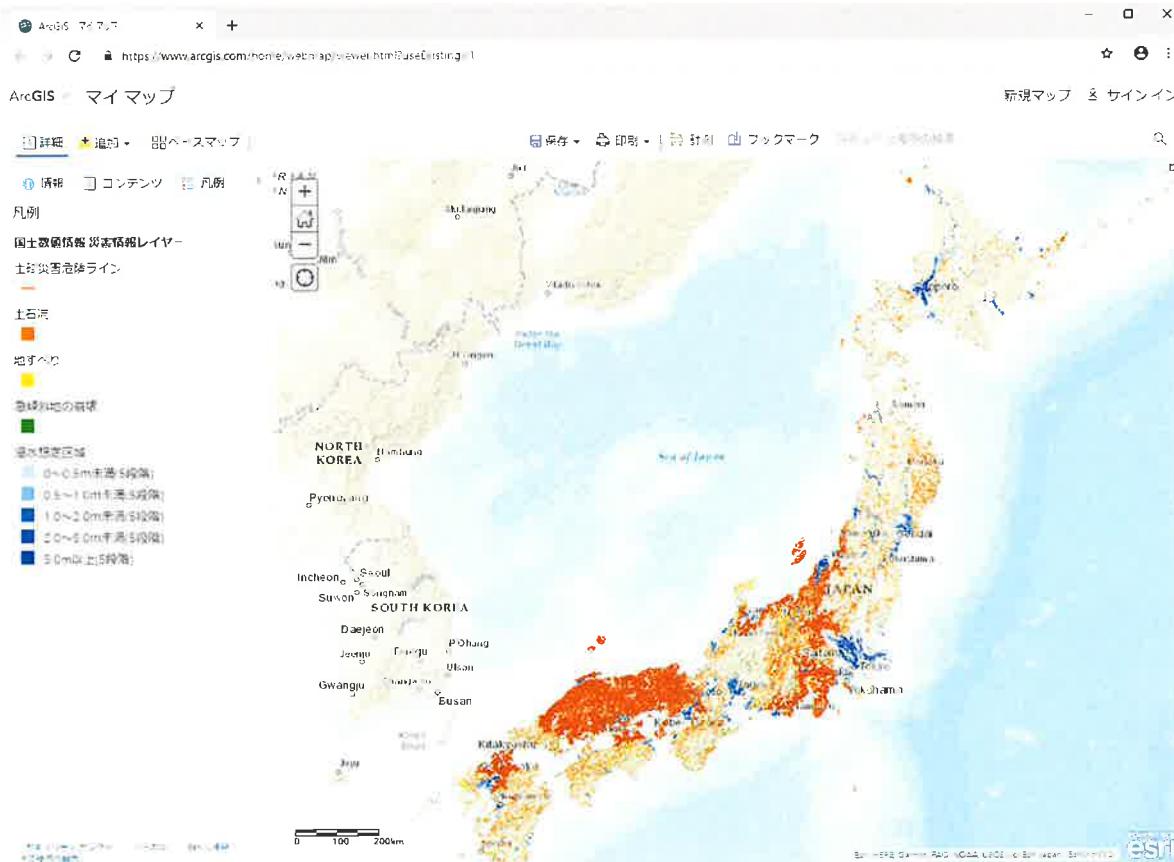


図 5.1.1 ArcGIS Online で配信されている土砂災害情報 (ArcGIS, 2019)

- 衛星画像を用いた土砂災害判読図（災害時の人口衛星活用ガイドブック 土砂災害版）
- 国土交通省のハザードマップポータルサイト
 - 2つのハザードマップ「重ねるハザードマップ」と「わがまちハザードマップ」が表示されている。重ねるハザードマップは、洪水・土砂災害・津波のリスク情報、道路防災情報、土地の特徴・成り立ちなどを地図や写真に自由に重ねて表示できる。
 - わがまちハザードマップは、各市町村が作成したハザードマップへリンクし地域ごとの様々な種類のハザードマップを閲覧できる。



図 5.1.2 国土交通省ハザードマップポータルサイト (2019)

- ・ 土砂災害予防システム「サキモリ」(クラウドサーバー)
雨量・水位・震動を測り、ライブカメラで現況確認できる。
サキモリは、各種センサ値が、あらかじめ設定した「危険域」「警戒域」に達すると、パソコン、スマホ、タブレット等にメールで警告が通知される。各種センサのデータ通信には特小無線を使用、監視カメラには3G回線の無線機器を使用するため、中山間地域での設定が容易である。



図 5.1.3 左：ライブカメラ 右：システム概念図 (2019)

<引用文献>

ArcGIS (2019) :

<https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=a2ad0097c3534f91a79fd92e08e6e2f9>

国土交通省のハザードマップポータルサイト (2019) : <https://disaportal.gsi.go.jp/>

土砂災害予防システム「サキモリ」(2019) : <http://www.sabopc.or.jp/images/sakimori.pdf>

5. 1. 2 流木災害の予測や軽減に利用する空間情報技術の現状

(1) 流木量把握のためのソフト、プログラムの現状

- ・データの種類

レーザ・プロファイラ、UAV、3D カメラ等で得られたデータにより、樹高、樹形、密度、枝下高等を計測

- ・森林 GIS データ

・現状では、密度管理図や県で作成された材積式を用いて材積量を把握しているが、適正な間伐が実施された前提での式であり、老齢林まで反映した式ではないことが多い。

・空中写真分析ソフト「もりったい」は、デジタル撮影空中写真の立体視及び分析を行うソフト。立体視機能に加え、オルソや高さデータを利用した樹種分類、蓄積推定、地形解析などの分析機能が利用できる。

(2) 解析手法の現状

1) 平成 27 年度流域山地災害等対策調査（流木災害対策手法検討調査）委託事業

…資料 04_流木災害対策の必要な森林を抽出する手法 手引書（案）

- ・航空レーザ測量成果等を用い、GIS による解析を前提とする

- ・流木発生危険箇所の抽出

→山地災害危険地区調査要領の山腹崩壊危険地区調査実施要領の手法

→流域内で土石流が発生した場合に、発生しうる流木量を推定するもの

算出された流木量：ポテンシャルとしての推定量

「山腹崩壊危険度の判定」：地質、傾斜、縦断面形、横断面形、土層深、齡級

「森林の土砂崩壊機能の判定」：樹種、立木密度、胸高直径

より、流木発生危険箇所を抽出

→メッシュ単位で与えられた値が、詳細な現地調査を行った場合、乖離することがある。

2) H30.3 土石流・流木対策指針（林野庁）

・山地災害危険地区（崩壊土砂流出危険地区）等で土石流・流木対策を実施する際の調査、計画、設計、維持管理についての指針

・流木量を推定し、流木量が最大となる 1 溪流の流木量に対し対策を計画する。

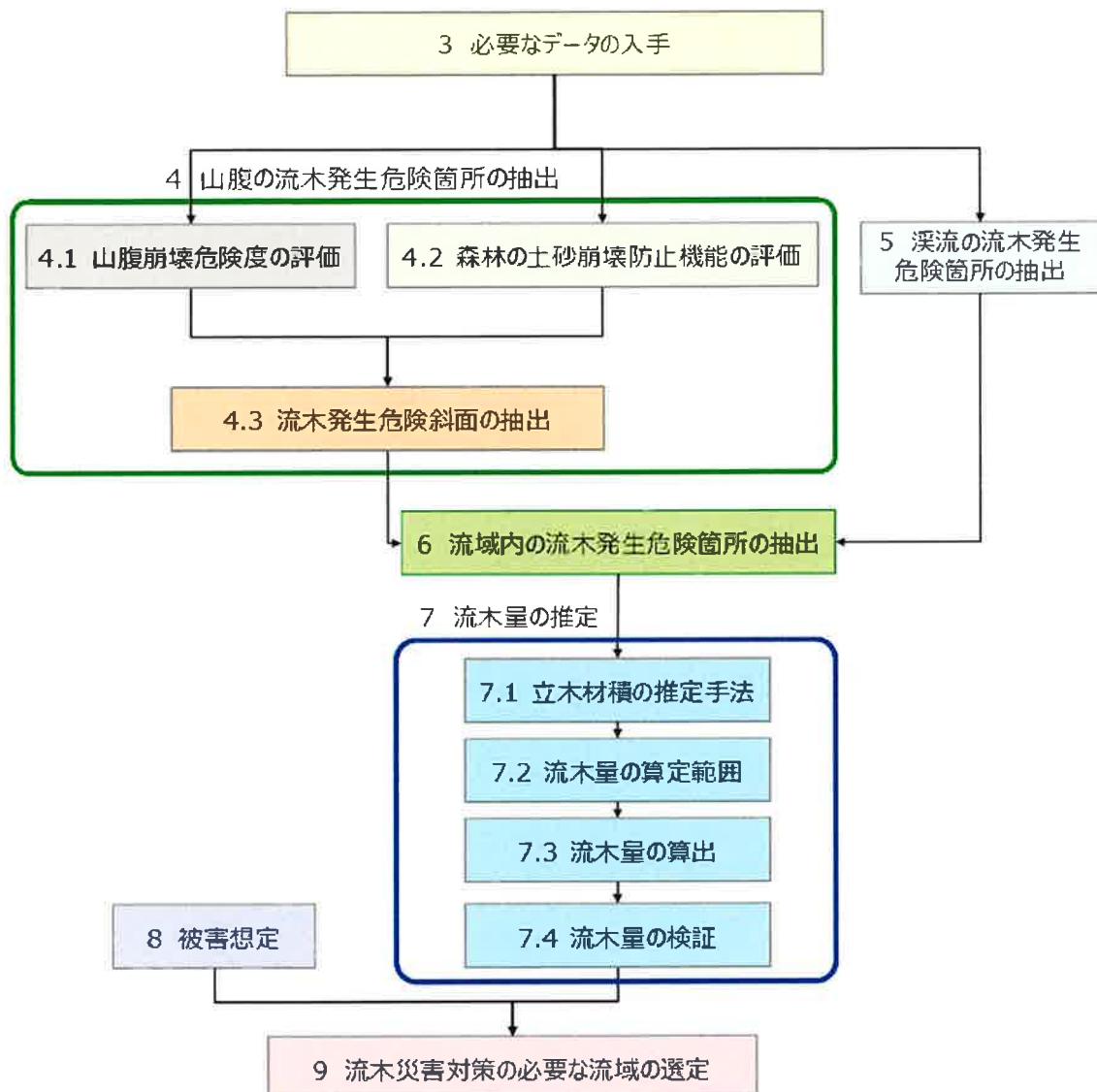


図 5.1.4 流木災害対策の必要な流域の選定フロー
(出典：流木災害対策の必要な森林を抽出する手法 手引書（案）)

(3) 水没範囲の予測手法の現状

○平成 26 年度流域山地災害等対策調査（流木災害対策手法検討調査）委託事業

「物理的にシミュレートする手法は現在の所存在しないため、流木が存在することによる特徴的事例を土石流の氾濫範囲シミュレートに組み込み、流木による氾濫範囲を予測する。具体的には、①河道閉塞部なしの氾濫計算、②河道閉塞部を地形データで再現した上での氾濫計算、③河道閉塞部が決壊した場合の氾濫計算」

○流木を伴う土石流のシミュレーション

「流木」を「濃度」として扱い、河床変動 の基礎方程式に以下の 3 つの機構を追加。・流木の連続式・流木の輸送速度（連続式に付加）・流木と河床の摩擦力（運動方程式に付加）鳥取大学大学院工学研究科 三輪

○個別要素法による流木捕捉シミュレーション解析法

「広島県庄原地区で発生した流木災害に関するシミュレーション解析」 防衛大学校 香月ら

「3D-DEM による流木捕捉工の捕捉シミュレーション解析」 防衛大学校 香月ら

5.1.3 リモートセンシングによる山地災害発生状況の把握の現状と課題

(1) 現状

リモートセンシングの計測手段には、ドローン、航空機、衛星といった様々なプラットフォームと、光学カメラ、SAR、LIDAR といった様々なセンサがあり、それらの組み合わせによって広域性・迅速性・全天候性・画像計測・高さ計測などの特徴が異なる。図 5.1.5 は大規模地すべり発生現場における SAR 画像と航空写真を比較した図である (JAFEE, 2019)。山地災害発生時には発生状況の把握のためにリモートセンシングによる情報が、現在でも活用されており、山地災害発生状況の把握に関する撮影技術や解析技術は実用的なレベルとなっている。

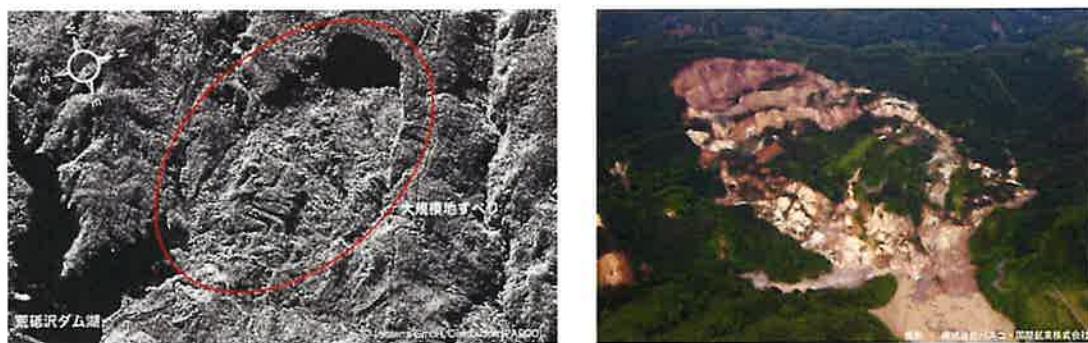


図 5.1.5 TeraSAR-X (左) と同じ場所を撮影した斜め航空写真 (JAFEE, 2019)

近年は航空レーザ計測データを用いて土石流の被災状況を把握した事例（例えば、小野ほか, 2015 など）も紹介されている。2 時期の航空レーザ計測データの差分を用いれば山間地での土砂移動状況を把握することが可能である（例えば、吉永ほか, 2011 など）。

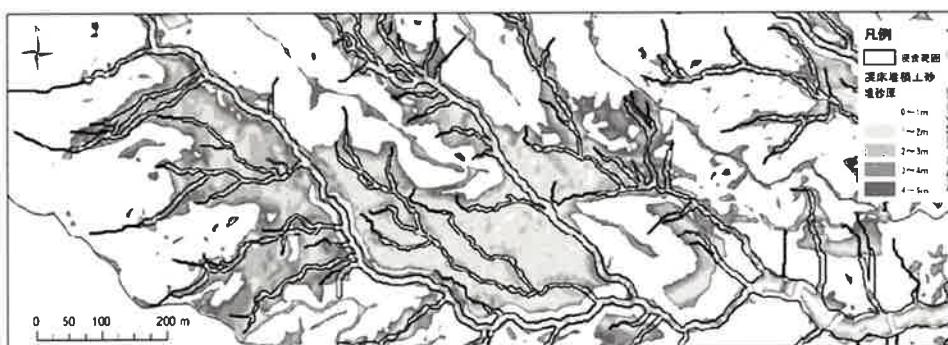


図 5.1.6 航空レーザ計測データを用いた渓床堆積地の抽出結果と浸食範囲（吉永ほか, 2011）

<引用文献>

森林・自然環境技術教育研究センター (JAFEE) (2019) : 「平成 30 年度森林調査手法の現状と今後

のあり方に関する資料収集・分析」報告書

小野貴穂ほか (2015) : 航空レーザ計測データと UAV を用いた土石流被災状況把握事例, 地盤工学会中部支部 第 24 回調査・設計・施工技術報告会

吉永子規ほか (2011) : 航空レーザ計測データを活用した砂防計画(土石流・流木対策), 第 60 回 砂防学会研究発表会概要集

(2) 課題の整理

- ①衛星画像（光学センサ）は、撮影時の天候によっては対象地域の鮮明な画像が入手できない場合がある。
- ②SAR 単独での山地災害発生場所の特定は一般的な災害では困難で、発生場所の斜面方向によって撮影に向きな場合がある。
- ③航空写真は広範囲な山地災害時には航測会社が自主的に撮影した写真が利用可能であるが、特定箇所の山地災害や狭い範囲で発生した山地災害時には発災直後の写真の入手が困難となる。
- ④航空レーザは山地災害時に航測会社が自主的に撮影することは少なく、必要に応じて発注することになるが、狭い範囲の撮影はコスト高となり向きである。
- ⑤UAV 撮影は広範囲の撮影に向きである。

5. 1. 4 垂直離着陸型 UAV の活用

(1) 現状

UAV の機体は「固定翼」と「回転翼」に分けられ、回転翼はヘリコプタ型の「シングルロータ」と複数のプロペラを持つ「マルチロータ」に分けられる。現在は、小型で低価格なマルチロータ型の回転翼機が最も普及している。

しかし、マルチロータ型の回転翼機は小型で低価格であるがゆえに、バッテリーの持続時間が數十分程度と短く、広範囲の撮影を行うためには離着陸を繰り返す必要がある。一方、固定翼型の UAV は航続時間が長いものの、滑走路を必要とするため山間地域での使用が難しい。回転翼機と固定翼機の短所を補い、長所を生かす機体として現在注目されているのが、垂直離陸型 (VTOL : Vertical Take-Off and Landing) の UAV である（図 5. 1.7）。

VTOL タイプの UAV は、滑走路を必要とせずどこからでも離発着できる特徴を有する。機体のデザインはさまざまで、固定翼にマルチロータを取り付け、上空で姿勢を変える設計の機体や、荷物配送での利用を想定し、水平に姿勢を保ったまま離着陸できる機体などが開発されている (JAFEE, 2019)。



図 5. 1.7 鉛直離着陸型 UAV の例
(X-CRAFT2019)

(2) 課題

①まだ山地災害調査における利用実績が少なく、今後伸びる可能性のある技術である。

<引用文献>

森林・自然環境技術教育研究センター（JAFEE）(2019)：「平成30年度森林調査手法の現状と今後のあり方に関する資料収集・分析」報告書

5.1.5 コーナーリフレクタを使った地形変動観測の現状

(1) 現状

コンクリートと鉄板で構成される丈夫なコーナーリフレクタを複数位置に常時設置し（図5.1.8参照），干渉SAR解析によってコーナーリフレクタの位置変動を高精度に計測し，地形変動を計測することができる。一般的なコーナーリフレクタは現場で組み立てられるように簡易な構造となっているが，図5.1.8のコーナーリフレクタは恒久的に設置できることから，地形変動を長期間にわたってモニタリングすることができる（JAFEE,2019）。波長が短いXバンドSAR（TerraSAR-X）用に開発されたものであり，比較的小型だが重量は100kg程度であり，恒久的に設置することができる（JAFEE,2019）。図5.1.8と図5.1.9に設置例を示す（JAFEE,2019）。

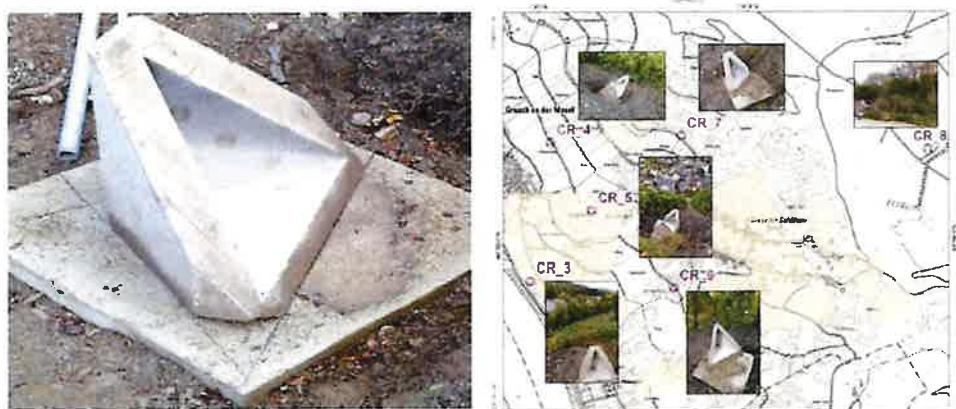


図 5.1.8 常時設置型コーナーリフレクタ（左）と設置例（右）（AIRBUS Defense and Space 2019b）（JAFEE,2019）

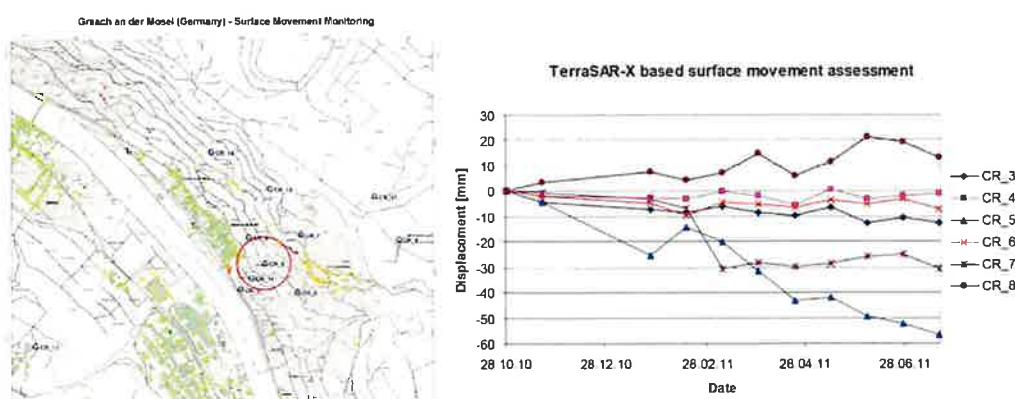


図 5.1.9 地形変動観測位置（左）と時系列変動図（右）（JAFEE,2019）

(2) 課題

- ①大規模地すべりなど、ゆっくりと移動する地表現象には対応可能であるが、崩壊や急速に滑動する地すべりの変動はとらえられない。
- ②地すべりの斜面変動の場合、設置場所によっては大きな傾動が発生し、正常な測定ができない可能性がある。
- ③重量 100kg と重いことから山間部での運搬方法や運搬場所に制約が生じる。

<引用文献>

森林・自然環境技術教育研究センター (JAFEE) (2019) :「平成 30 年度森林調査手法の現状と今後のあり方に関する資料収集・分析」報告書

5.1.6 地上設置型合成開口レーダを利用した移動量観測

(1) 現状

近くに立ち入ることが出来ない崩壊斜面の監視や大規模土工事の施工中の切土のり面の変状観測において、リモートセンシング技術である地上設置型合成開口レーダ (Ground Based Synthetic Aperture Radar, 以下 GB-SAR と呼ぶ) を用いる手法は近年取り入れられている（例えば、松木ほか,2016 や中谷ほか,2018）。



図 5.1.10 GB-SAR の計測状況の例
(中谷ほか,2018)

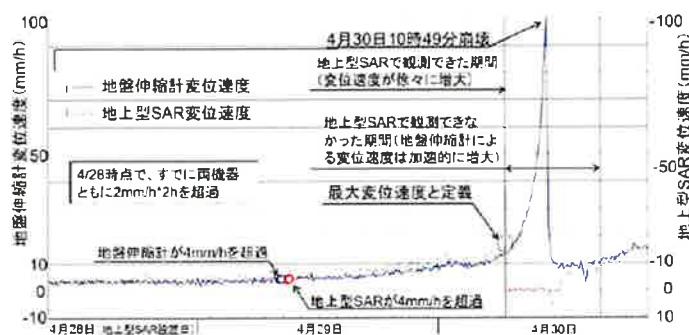


図 5.1.11 GB-SAR を崩壊斜面監視に用いた事例(左)とその計測結果(右)(松木ほか,2016)

今後も斜面全体の監視が必要な場合や立ち入りが制限される斜面の監視に GB-SAR が活用され、効果を発揮すると考える。

(2) 課題

①17GHz 帯の周波数を利用した GB-SAR は、日本で使用する場合、電波法に係る無線局の免許申請が必要となる。通常、この手続きには数ヶ月を要するため、災害復旧などの緊急性が高い場合は許可申請が間に合わない可能性がある（中谷ほか,2018）。

<引用文献>

- 森林・自然環境技術教育研究センター (JAFEE) (2019) :「平成 30 年度森林調査手法の現状と今後のあり方に関する資料収集・分析」報告書
- 中谷匡志ほか (2018) :地上設置型合成開口レーダを用いた大規模切土のり面動態観測の検討, 日本リモートセンシング学会誌, Vo.38, No.4, pp.347-351.
- 松下一樹ほか (2016) :地上設置型合成開口レーダを用いた崩壊斜面監視手法の開発, 土木技術資料, Vo.58, No.2, pp.12-13.

5. 1. 7 リモートセンシングを用いた風倒木の被害状況把握

(1) 現状

リモートセンシング技術を利用して広域で発生する風倒木の被害状況を把握する技術は近年の災害で活用されている。図 5. 1.12 は航空レーザ計測結果から作成される DSM と数値地形データ(DEM)の差からギャップの分布を抽出し、光学センサの衛星画像解析の結果と組み合わせることで、倒木と枯損のエリアを抽出した事例である(田口仁,2005)。

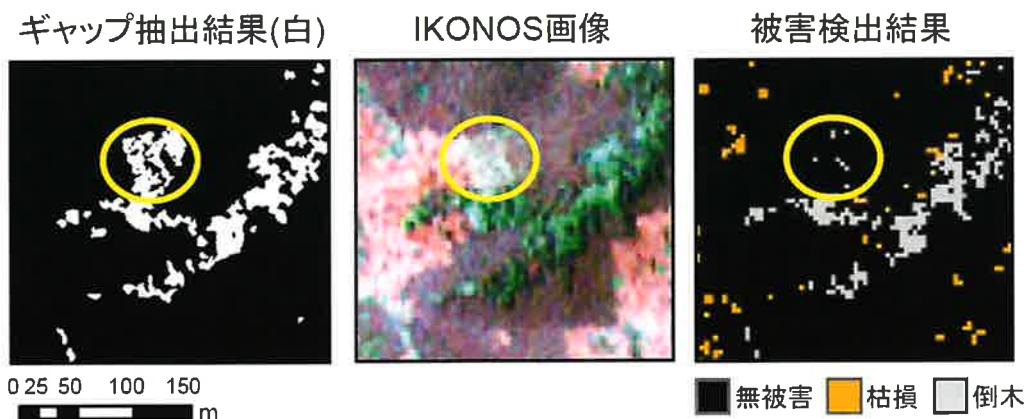


図 5. 1.12 ギャップ抽出結果と衛星画像解析を併用した倒木の抽出結果 (田口仁,2005)

図 5.1.13 は航空レーザ計測結果の 2 時期の差分から単木単位での風倒木を抽出した事例である（鈴木浩二ほか,2008）。

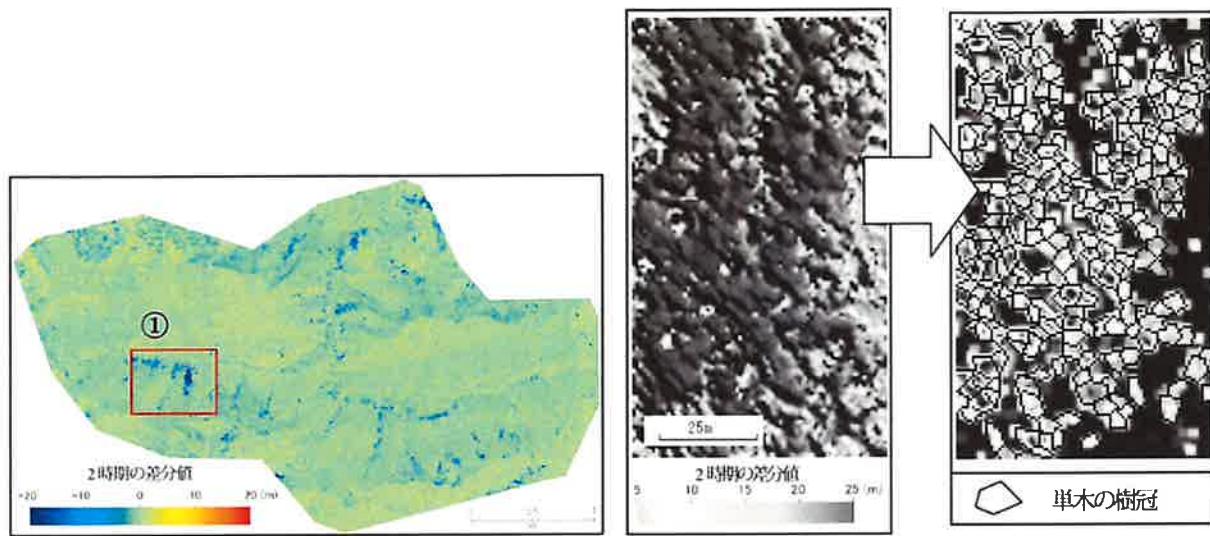


図 5.1.13 2時期の差分による風倒木の抽出(左)と単木単位での抽出結果(右)(鈴木浩二ほか,2008)

<引用文献>

- 鈴木浩二ほか (2008) : 航空レーザを用いた風倒木の判別, 砂防学会誌, Vol.61, No.1, pp.39-42.
 田口仁 (2005) : 高解像度リモートセンシングデータを用いた森林被害検出手法の開発, 慶應義塾
 大学博士論文

5.2 ICT 等の情報伝達技術の利用に関する現状と課題の整理

5.2.1 土砂災害の予測や軽減に利用する情報伝達技術の現状

(1) 災害 SNS データからの発災推定技術

SNS 上に流れる多くの発言（ツイート）には災害に関するものを含まれる。SNS 上の発言には噂や伝聞も含まれるが、災害に関する雑多な SNS データの中から、直接目撃した情報を抽出した上で、発信場所を推定し、さらには発言件数の変化を検知することで発生を推測する技術が 2015 年に開発されている（富士通ジャーナル,2015）。

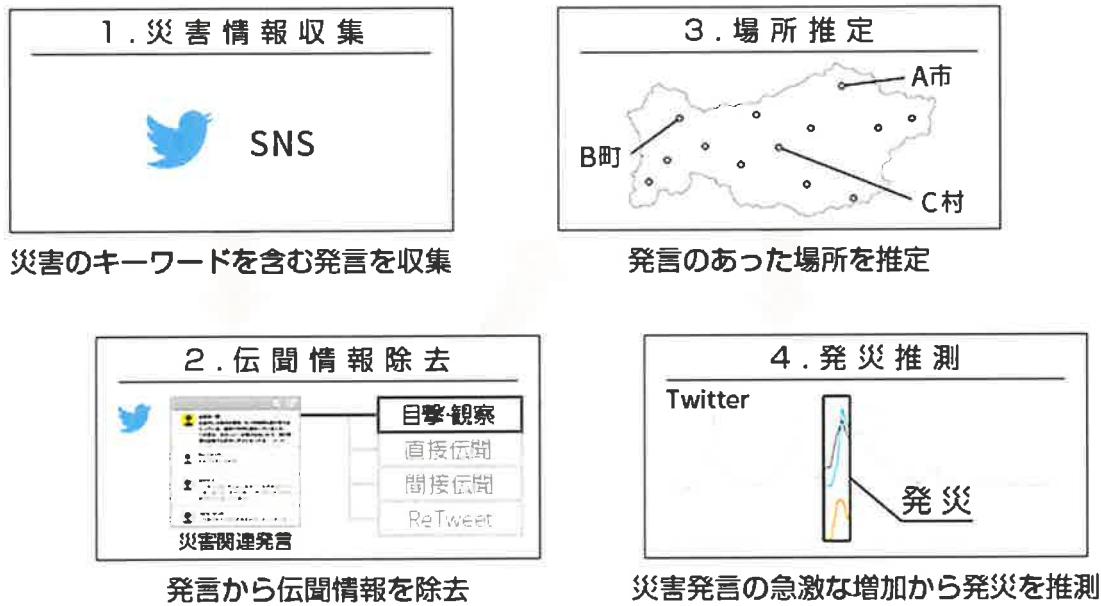


図 5.2.1 災害発生推定の仕組み（富士通ジャーナル）

<引用文献>

富士通ジャーナル（2015）：災害予測を迅速かつ正確に、防災を支援する「災害ビッグデータ分析技術」(<https://journal.jp.fujitsu.com/2015/05/29/02/>)（2019/11 参照）

(2) 総務省におけるスマートシティ展開

図 5.2.2 は総務省が進める ICT を活用した街づくりのイメージ図である（総務省, 2018）。防災・減災や農林水産業などにも様々な ICT を活用しようというものである。

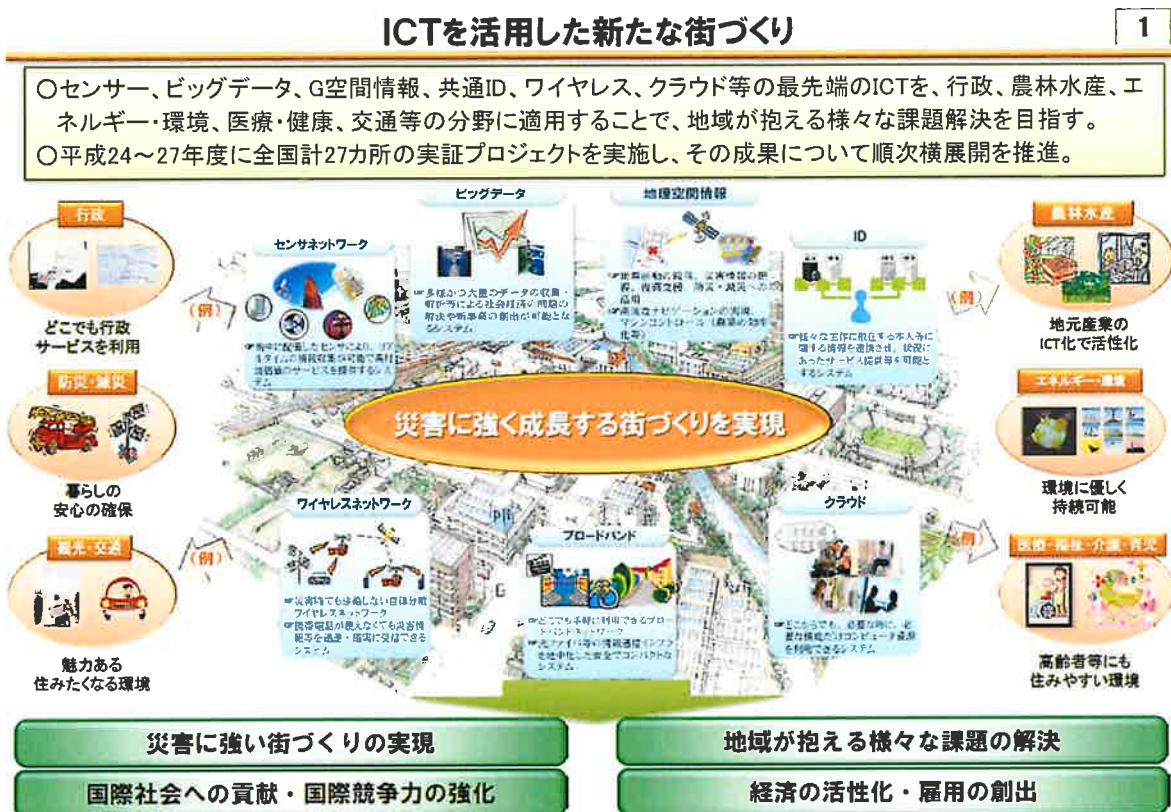


図 5.2.2 総務省が進める ICT を活用した新たな街づくり（総務省, 2018）

<引用文献>

総務省（2018）：総務省におけるスマートシティの展開について

（<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/kokusentoc/supercity/dai2/shiryou2.pdf>）

5.2.2 流木災害の予測や軽減に利用する情報伝達技術の現状

(1) 森林情報の利活用技術

- ・森林 G I S → 多くがバージョンアップやリプレースの必要あり
- ・森林情報は都道府県や市町村に独自の形式で所有、蓄積されている
- ・現在は殆どがオープンデータ化されていない
- ・森林情報を包括的に利用可能とする森林情報システムの導入率はいまだ低い状況

森林分野の情報

空中写真、衛星画像、森林簿、施業履歴、所有者情報、境界情報、航空レーザ計測などで取得した森林資源情報

(2) 森林整備への活用

基礎資料である森林情報が適切に整備されることにより、流木化する可能性のあるエリアにおける森林整備が進み、流木災害（被害）の軽減化に寄与することが可能である。

具体的には以下の取り組みがある。

- ・森林クラウド

→森林クラウドシステム標準化検討委員会による「標準仕様化」に向けた取り組み
シンポジウム、森林GISフォーラムの開催、パンフレットの配布（H26～H30で終了）
導入が進みつつある（H30年度末で6県導入済み）

- ・森林施業集約化

(3) 経営の効率化と生産性の向上

- ・スマート林業
- ・高度木材生産機械
- ・作業効率化アプリ

5.2.3 風倒木災害の予測や軽減に利用する情報伝達技術の現状

図5.2.3は災害時の森林の被害状況にICTを活用する事例紹介である（真庭市、2014）。前出の総務省のスマートシティ構想にもあるように、このような発災後の情報収集にICTを活用しようとする動きは各地に広がっている。



図 5.2.3 森林資源量のモニタリングと災害時に現況把握におけるICT活用事例（真庭市.2014）

<引用文献>

真庭市（2014）：真庭の森林を活かすICT地域づくりプロジェクト

5.2.4 web型自動観測システムを用いた山地災害の監視

近年、スマートフォンやインターネット回線を利用した web 型自動観測システムが複数の会社から出ており、山地災害の監視に利用されている。図 5.2.4 はそれの一例であるが、本システムは、(1) 多種の計器・ロガーに対応、(2) 様々な通信手段に対応、(3) 簡易 Web 型による初期・運用コストの低減、(4) 他システムとの柔軟な連携による高い拡張性という特徴を持っている。測器は国内で販売されている主要なロガーに対応しているため、機種によらない汎用的なシステムを構築できる。また、通信手段として標準で NTT ドコモや au の携帯パケット回線、無線 LAN による無線通信、電話やインターネットの有線回線に対応している。データ収集・演算判定・Web ページ化・異常通報を観測装置一台のみで全て集約処理しており、Web 配信には ISP (インターネット接続業者) の HP 領域を活用することで高価な DBMS (データベース・マネージメント・システム) や Web サーバが不要になる。この Web ページは既存の端末や携帯電話で見ることができる。さらに、国電通仕第 21 号 (テレメータ装置標準仕様書) に準拠して他システムと連携したり、地下水位から安全率を自動算出して警戒判定したり、電子メールや電話、FAX で警報を通知したりと、より高度な情報集約や他システムとの連携も可能である (JAFEE, 2019)。

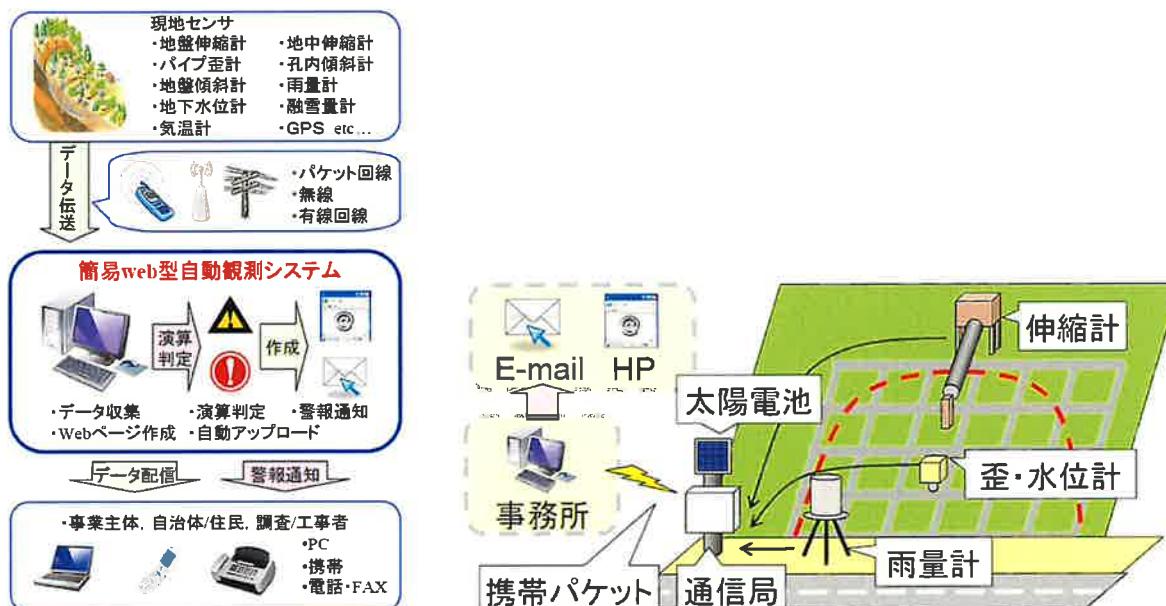


図 5.2.4 web 型自動観測システムの概要 (左) と設置例 (右) (JAFEE, 2019)

<引用文献>

森林・自然環境技術教育研究センター (JAFEE) (2019) :「平成 30 年度森林調査手法の現状と今後のあり方に関する資料収集・分析」報告書

5.2.5 ICTを活用したソフト対策

災害時に使える情報ネットワークインフラの代表には内閣府が主導する「戦略的イノベーション創造プログラム」(通称:SIP)の一環として、防災科学技術研究所と日立製作所が2014年より共同で研究開発を進めてきたSIP4D(府省連携防災情報共有システム)がある。これについては2016年熊本地震災害や2017年九州北部豪雨災害など、近年の複数の広域災害において活用され、報道番組などでも取り上げられたことから一般にも周知されるようになってきた。図5.2.5はSIP4Dの全体イメージ(臼田,2019)で図5.2.6はSIP4Dで共有される情報の例(臼田,2019)である。



図5.2.5 府省連携防災情報共有システム:SIP4D(臼田,2019)

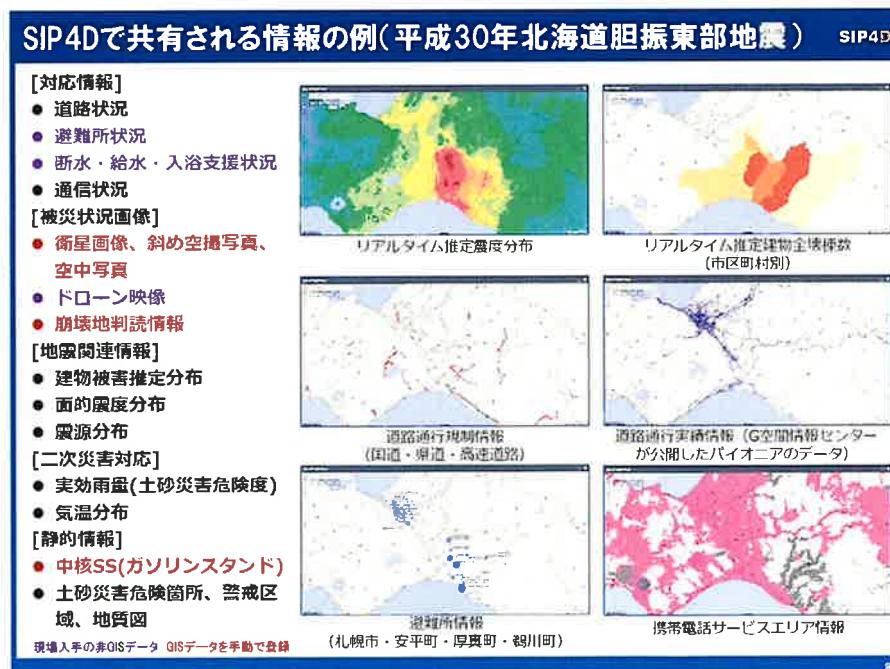


図5.2.6 SIP4Dで共有される情報の例(臼田,2019)

図 5.2.7 は東日本大震災に関して平時から発災後 3 ヶ月までのタイムラインで、役立った情報源を調査した結果である。発災直後に最も役立った情報源はラジオで、時間が経過するとテレビが最上位でインターネットが 2 番目の情報源となっている。

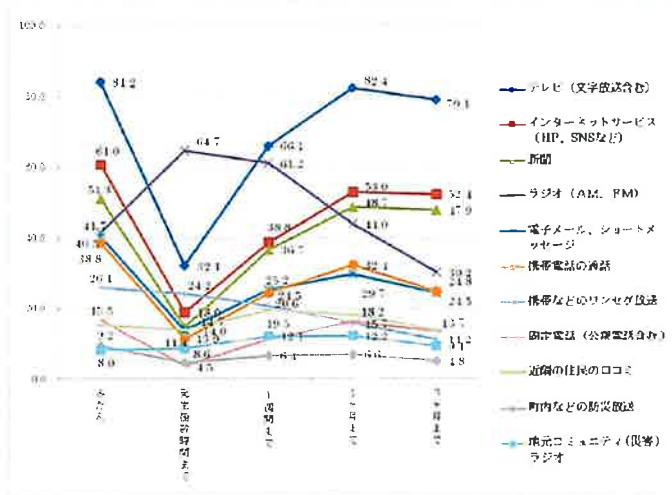


図 5.2.7 東日本大震災時に役立った情報源(畠山,2017)

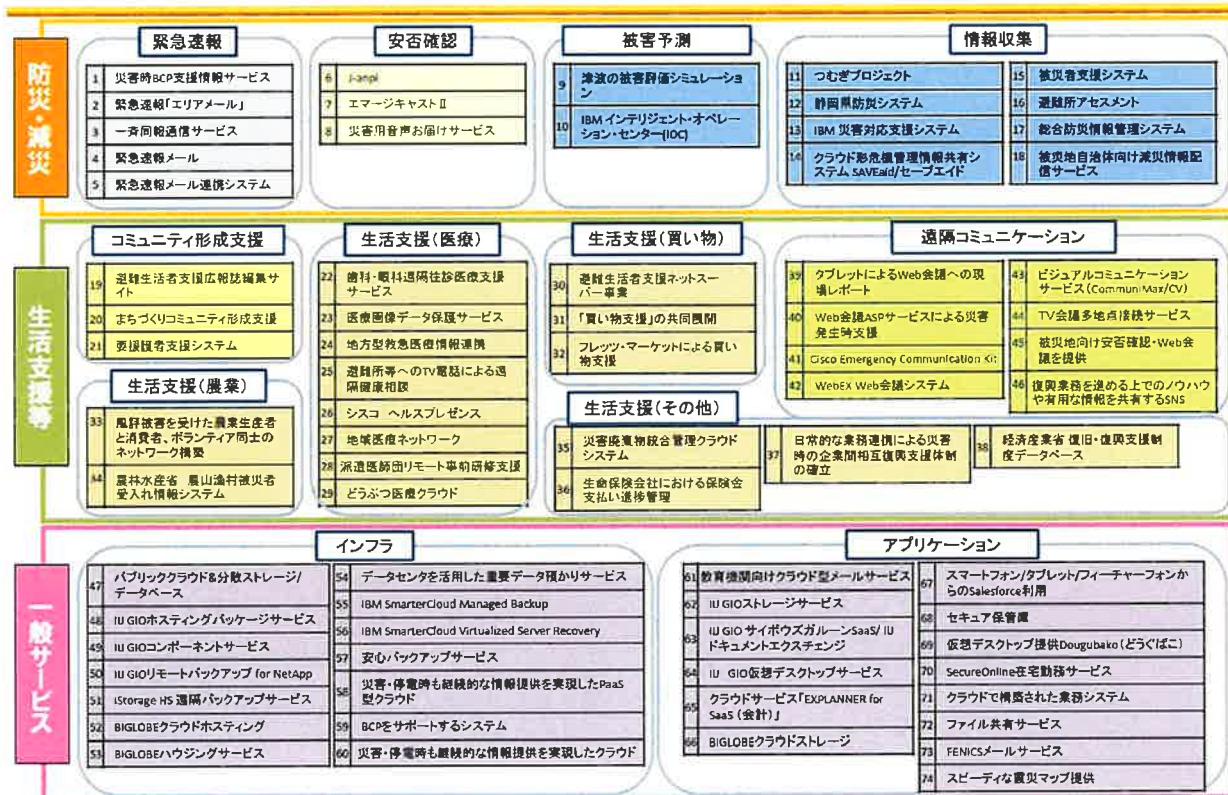


図 5.2.8 防災・減災等に資する ICT サービス事例 全体図(総務省,2013)

図 5.2.8 は総務省 (2013) が取りまとめた防災・減災に資する ICT サービス事例の全体図である。いろいろなジャンルの ICT サービスが 2013 年当時に存在していた。その中の具体的な利活用事例を表 5.2.1 と表 5.2.2 に示す。

表 5.2.1 ICT 利活用事例一覧（その1）（総務省、2013 より抜粋）

利活用事例一覧①（緊急速報、安否確認、災害情報管理）

番号	企業名	分野	タイトル	取組概要
1	伊藤忠テクノソリューションズ	緊急速報	災害時BCP支援情報サービス	緊急地震速報と気象情報を組み合わせて通知し、建設現場の災害リスクを一元的に管理。
2	NTTドコモ	緊急速報	緊急速報「エリアメール」	災害が発生しそうな時、又は、発生した後、被害が想定されるエリアにいる携帯電話に対して即時に一斉同報配信。
3	NTTドコモ	緊急速報	一斉同報通信サービス	ドクターヘリの出勤要請を一斉連絡するサービスを提供し救急医療の迅速化に貢献。
4	KDDI	緊急速報	緊急速報メール	気象庁が配信する緊急地震速報や津波警報、国や地方公共団体が配信する災害・避難情報を特定の地域にある携帯電話に対して一斉同報配信するサービス。
5	富士通	緊急速報	緊急速報メール連携システム	Jアラートから送られる気象情報や国民保護情報を携帯電話キャリアの緊急速報メールやEメール、メーリングリストなどに一括送信。
6	NTT、NHK、NTTレゾナント	安否確認	J-anpi	大規模災害時に様々な企業・団体が保有する各種安否情報を、まとめて検索、確認できるWeb共同サイト。
7	NTTドコモ	安否確認	エマージキャストII	社員の緊急呼出や安否確認に活用できるサービス。
8	KDDI	安否確認	災害用音声お届けサービス	スマートフォンで録音した音声ファイルを、パケット網を利用して送信し、相手の携帯電話で再生。
9	伊藤忠テクノソリューションズ	災害情報管理（被害予測）	津波の被害評価シミュレーション	津波シミュレーション技術、流体解析技術、構造解析技術を組み合わせ、防災・減災のための津波による被害評価シミュレーションサービスを提供。
10	日本アイ・ビー・エム	災害情報管理（被害予測）	IBM インテリジェント・オペレーション・センター(IOC)	上下水道、交通、電気といった都市に関わる状況を一元的に把握し、予測情報に基づいて安全を守り対応力を高める。
11	NTTPCコミュニケーションズ他	災害情報管理（情報収集）	つむぎプロジェクト	東日本大震災の被災地復興支援・社会貢献の考え方のもと、賛同企業・団体・関係機関の力を結集し、被災地の抱える具体的な諸課題の解決に向けて取り組む活動。
12	セールスフォース	災害情報管理（情報収集）	静岡県防災システム	高い可用性と優れたデータ保全性といったクラウドの特長を活かした防災システム。
13	日本アイ・ビー・エム	災害情報管理（情報収集）	IBM 災害対応支援システム	災害発生時に関連情報を迅速に収集・統合し、迅速な判断のための関連情報を可視化と多様なメディアを通じた確実な防災情報配信を実現。

表 5.2.2 ICT 利活用事例一覧（その2）（総務省、2013 より抜粋）

利活用事例一覧②（災害情報管理、コミュニティ形成支援、生活支援）

番号	企業名	分野	タイトル	取組概要
14	日本ユニシス	災害情報管理（情報収集）	クラウド形危機管理情報共有システム SAVeAld/セーブエイド	市町村の災害対策本部に情報の収集/整理の仕組みを提供し、災害時の混乱した状況での意思決定を支援。
15	日立システムズ	災害情報管理（情報収集）	被災者支援システム	避難者情報などの把握や救援物資の管理、権限証明や家屋権証明の発行など、災害時に必要な行政業務を早期に立ち上げることが可能。
16	富士通	災害情報管理（情報収集）	避難所アセスメント	避難所アセスメント、マイナリティ支援、ニーズのマッチングを行う仕組みをクラウドでサポート。
17	富士通	災害情報管理（情報収集）	総合防災情報管理システム	自然災害や都市災害及び緊急事態における自治体の防災活動を支援し、迅速な初動対応を実現するための情報管理をクラウドで実現。
18	NTTデータ等	災害情報管理（情報収集）	被災地自治体向け減災情報配信サービス	気象庁から発表される気象情報を常時監視し、状況変化から大雨災害の危険度を分析して自治体の防災担当者に通知するクラウドサービス。
19	伊藤忠テクノソリューションズ	コミュニティ形成支援	避難生活者支援広報誌編集サイト	クラウド環境を利用して、「避難生活者向け応援メッセージ広報誌のデータ編集サイト」を1週間で提供。
20	NEC	コミュニティ形成支援	まちづくりコミュニティ形成支援	地域コミュニティの形成に役立つコンテンツを、自治体やNPO、住民自らが制作し、簡単な操作で配信できるシステム。
21	セールスフォース	コミュニティ形成支援	要援護者支援システム	一人暮らし高齢者及び要援護障害者の各種情報をGISとも連携し、クラウド上で一元管理。
22	伊藤忠商事	生活支援（医療）	歯科・眼科遠隔往診医療支援サービス	被災地で病院に通えなくなった高齢者に対し、携帯電話通信を利用してことで、眼科・歯科など遠隔にて検診を行うことにより高齢者を支援。
23	伊藤忠テクノソリューションズ	生活支援（医療）	医療画像データ保護サービス	全国7箇所のデータセンターにより運営される「分散データ保管サービス」を利用して、「県の医療画像データを長期保存するストレージサービス」を提供。
24	伊藤忠テクノソリューションズ	生活支援（医療）	地方型救急医療情報連携	小型カメラや車載カメラ、タブレット端末などを利用し、救急車内や救急医療現場における動画情報位置情報、患者情報を搬送先病院と共有することで、救急医療におけるメディカルコントロールを支援。
25	NTT東日本等	生活支援（医療）	避難所等へのTV電話による遠隔健康相談	被災された方に、プロードバンド回線「フレッツ光」とテレビ電話端末「フレッツフォン」を利用したヘルスケア、マンタルケアの遠隔健康相談を無償で提供。
26	シスコシステムズ	生活支援（医療）	シスコ ヘルスフレゼンス	東日本大震災地区的住民向けに遠隔健康相談窓口をドラッグストアを使って提供。

表 5.2.1 の No.1 の事例は建設現場での災害リスクを一元管理する情報サービスの説明図を図 5.2.9 に示す。図 5.2.10 は No.12 で紹介されている静岡県が導入している防災システム(セールスフォース)である(総務省, 2013)。

1. 災害時BCP支援情報サービス（伊藤忠テクノソリューションズ）

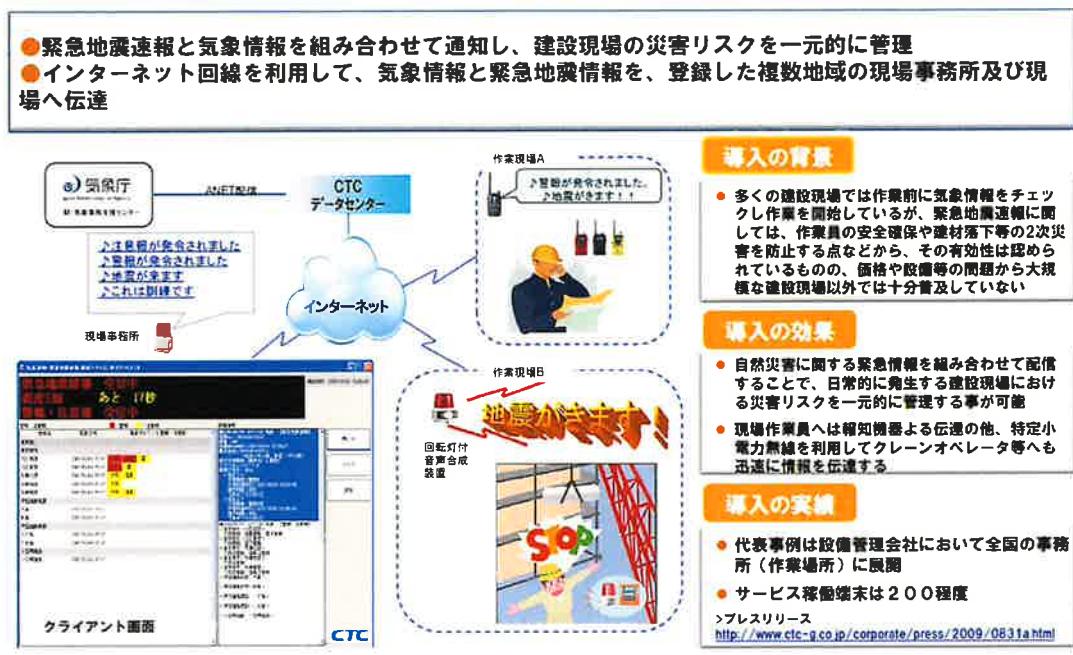


図 5.2.9 建設現場での災害リスクを一元管理する災害時 BCP 支援情報サービス
(総務省, 2013)

12. 静岡県防災システム（セールスフォース）

- 可用性が高く、データ保全性に優れたクラウドの特長を活かしたシステム構築が可能
- サーバ上で一から作り込みする必要がなく、開発・運用コストの削減につながる
- 災害時には、簡単に利用者を追加して数万人規模での利用ができる

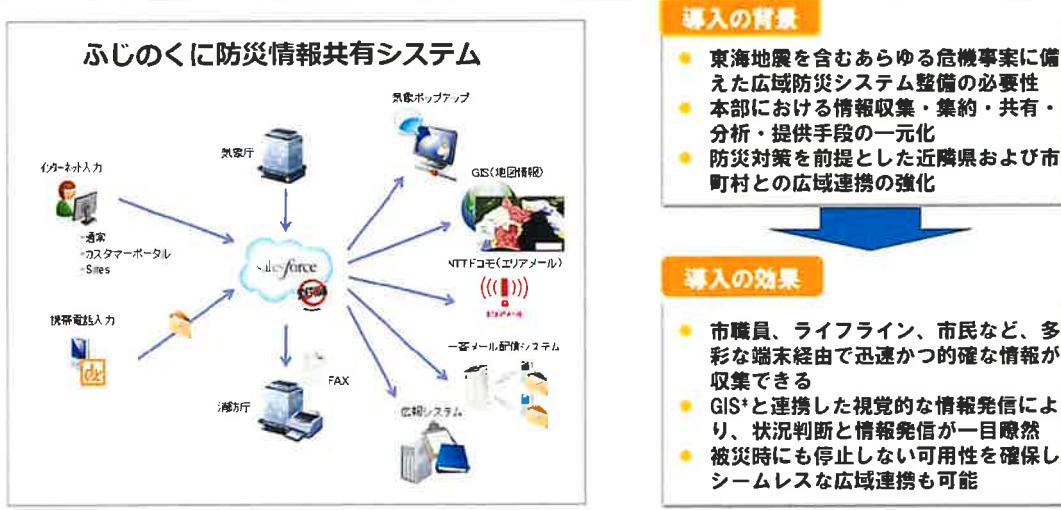


図 5.2.10 静岡県防災システム—セールスフォース (総務省, 2013)

<引用文献>

- 臼田裕一郎 (2019) : 府省庁連携防災情報共有システム SIP4D 防災情報サービスの挑戦, 東京大学
空間情報科学研究センター・G 空間宇宙利用工学 社会連携・寄付研究部門 (CSIS-S4D) 第 8
回公開シンポジウム
- 森林・自然環境技術教育研究センター (JAFEE) (2019) : 「平成 30 年度森林調査手法の現状と今後
のあり方に関する資料収集・分析」報告書
- 畠山満則 (2017) : 防災・減災を支える情報通信技術の課題と展望, 通信ソサイエティマガジン, No.42
秋号, 電子情報通信学会, pp.100-105.
- 総務省 (2013) : 防災・減災に資する ICT サービス事例集, ICT 街づくり推進会議 検討部会 (第 1
回会合) 配布資料

5.3 その他の技術の利用に関する現状と課題の整理

■ 治山堰堤における基礎地盤特性の問題

治山分野でも流木対策としての不透過型治山堰堤（流木補足工）の導入が続いているが、砂防における透過型・不透過型の堰堤配置論とは、さまざまな点で基本的な考え方があるため、導入における課題が多い。その中でも特に基礎地盤に課題がある。この内容は新しい技術の利用にはなじまないため、「10. 治山施設の適正配置と機能強化に対する検討」で記述する内容であるが、基礎地盤に課題があることは、本項で触れる。流木補足工が流木に起因する水平外力（流木と水流による掃流力等）に耐えるためには砂防堰堤のような強固な基礎地盤が必要となるが、林野庁（2018）の土石流・流木対策指針には基礎地盤に関する踏み込んだ記述は無い。治山施設の流木補足工には砂防堰堤と同等の技術基準の適用が求められる。

表 5.3.1 関連する技術基準書における基礎地盤の条件の違い

区分（種類）	基礎地盤に関する基準書での記述例	備考
治山堰堤（谷止工、床固工）	<p>＜基礎地盤＞</p> <p>十分な支持力、摩擦抵抗力を有するとともに、ダム下流側の洗掘、パイピング等による破壊に対しても安全でなければならない。</p> <p>＜基礎の根入れ＞</p> <p>(1) 盤状硬岩で風化していない場合 0.5m 程度 (2) 岩の場合 1.0m 程度 (3) 軟岩（風化しやすい岩盤又は亀裂の多い岩盤）の場合 1.5m 程度 (4) 砂礫層等の場合 2.0～3.0m 程度</p>	①基礎地盤は砂礫層でも良い。 ②基礎地盤の地質調査をしないことが多い。
砂防堰堤（透過型・不透過型）	基礎地盤は、原則として岩盤とする。	①基礎地盤の地質調査は原則的に実施する。 ②基礎地盤の強度不足の場合は地盤改良等が必要。

表 5.3.2 林野庁の土石流・流木対策指針での基礎地盤の条件（林野庁、2018）

2-10 治山ダムの洗掘対策

治山ダムの基礎は、土石流・流木の流下に伴い発生する洗掘等による破壊に対しても安全でなければならない。

〔解説〕

1 基礎

土石流の捕捉時には、土石の分離により生じる大量の流水が一度に治山ダムを越流する場合がある。越流水の落差は、透過部の高さを加えたものとなり、大きな洗掘エネルギーを有するものとなることから、単独で設置する治山ダムや階段状に設置する治山ダムの最下流は、副ダム等による洗掘防止対策が必要である。

<引用文献>

林野庁（2020）：治山技術基準解説－総則・山地治山編，

林野庁（2018）：土石流・流木対策指針解説

国土交通省（2017）：土木工事設計要領（河川編）第4章砂防施設，九州地方整備局

5.4 空間情報技術の利用に関する課題

5.4.1 治山分野で利用する地形図の現状と課題

5.1 節でも取り上げたように、山地災害発生状況の把握などで、リモートセンシングの活用が進んでおり、航空レーザ計測結果を用いた地形図による微地形判読などが実用化されている。平成28年には国土地理院から「UAVを用いた公共測量マニュアル（案）」が発行され、UAV撮影画像から作成した地形図も公共測量として認められ、狭い範囲での微地形判読に利用されることもある。

一方、治山施設の設計においては未だに森林基本図が利用されており、航空レーザ計測等で得られた詳細な地形図がある場合でも精度の悪い森林基本図の使用を発注者から指示されることがある。また、掘削土量の計算においても詳細な地形図データにより直接算出する方法では無く、従来の簡易な算出方法の適用を求められる。

<引用文献>

国土交通省国土地理院（2016）：UAVを用いた公共測量マニュアル（案）（平成28年3月）

国土交通省国土地理院（2017）：UAVを用いた公共測量マニュアル（案）（平成29年3月改正）

5.4.2 空間情報技術の利用に関する課題

(1) 治山分野での空間情報技術の利用に関する課題

- ・H30年度に実施したアンケート調査で、航空レーザ計測を治山分野で活用していると回答した都道府県は全20県中3県であった。

- ・航空レーザ計測結果などの詳細な地形情報がある場合でも森林基本図を元にした計画や設計が発注者から要求されることがある。

- ・治山施設の設計に関する土量計算において空間情報を利用せずに従来の簡易法による計算を発注者から求められることがある。

(2) 流木災害の予測や軽減に利用する空間情報技術の課題

- ・現状では、密度管理図や県で作成された材積式を用いて材積量を把握しているが、適正な間伐が実施された前提での式であり、老齢林まで反映した式ではないことが多い。

- ・流木発生危険箇所の抽出において、メッシュ単位で与えられた値が、詳細な現地調査を行った場合、乖離することがある。

5.5 ICT 等の情報伝達技術の利用に関する課題

- ・治山分野に SNS など最近の情報伝達技術が活用されていない。
- ・土砂災害や流木災害の予測や軽減に ICT 等の情報伝達技術を活用していると回答した都道府県は全 20 県中 3 県であった。
- ・森林情報高度利活用技術開発事業
 - 航空レーザ計測等で取得した森林資源情報等の大量の情報を効率的かつ安全に利活用できるように、ICT による情報共有の実証 及びデータ・システムの標準化
 - 森林情報システムのクラウド化
 - 森林 GIS フォーラム
- ・森林クラウド
 - 森林クラウド実証システム開発事業
 - 森林 ICT プラットフォーム
- ・森林整備（災害に強い森づくり）
 - スマート林業
 - 高度木材生産機械
- ・森林施業集約化
 - 画像認識AIエンジンの開発とその活用法に関する検討
 - UAV 取得データを活用した樹種判別と森林境界明確化支援技術
 - 全天球画像を活用した人工林材積・材質推定技術
- ・経営の効率化と生産性の向上
 - スマート林業タスクフォース NAGANO
 - 作業効率化（検知 Talk, アプリ）

6. 気候変動に伴う気象現象の予測手法と対応

6.1 従来の手法を改良した極値解析手法を用いる方法

極値解析手法を用いた従来の方法に関する岸原・武藏（1981）や菊池原（1958）などの指摘は1箇所の雨量観測所のデータのみでは統計解析としてのデータ量が圧倒的に不足しているということである。従来の極値解析手法の改良法としては鈴木・菊池原（1984）の方法が、異常豪雨に対する適用性は高いと考えられるので、その手法について再度紹介する。

鈴木・菊池原（1984）は異常豪雨を定義するための指標として以下の A 値を提案している。

$$A = \frac{x_1 - x_2}{S_x}$$

ここに、 x_1 ：第1位の雨量、 x_2 ：第2位の雨量、 S_x ：標準偏差

鈴木・菊池原（1984）は $A=1.5$ 以上を異常豪雨と定義し、 $A=2.0$ 以上を特に異常度が大きいとした。

鈴木・菊池原（1984）は、異常豪雨が 1 観測地点で 1 個有るか無いかという現象のため、1 観測地点だけのデータから極値解析をすること自体が問題であるとして、Linsley ほか(1949)が提示した Station Year Method (以下、SY 法と呼ぶ) を用いた手法を提案している。SY 法は、ある地域内の地点の全データを合併してその地域を代表する 1 組のデータとして扱い、個々の地点の統計年数より大きな R・P・の推算を行う方法である（鈴木・菊池原, 1984）。互いに統計的分布の異なるデータを合併したのでは意味がないため、経験的 R・P・曲線に現れる見かけ上の分布型の差異と、平均値・分散の度合いといったパラメータの差を規準化した。鈴木・菊池原（1984）が用いた基準化の式は以下の式である。

$$y_i = \frac{x_i - M_2}{M_{10} - M_2}$$

ここに、 y_i ：年最大日降水量 x_i の規準化値、 x_i ：年最大日降水量、 M_2 ：再現期間 2 年の日降水量、 M_{10} ：再現期間 10 年の日降水量

この規準化を行うと日本のどの地域でも大きな違いが無いとして日本全体を 1 つの地域とした経験的再現期間曲線 (R.P.曲線) を図 6.1.1 のように示している。鈴木・菊池原（1984）はこの方法を持ってしても第 1 位の彦根と第 2 位の苫小牧の異常豪雨は対応不能で、異常値のままであったとしている。

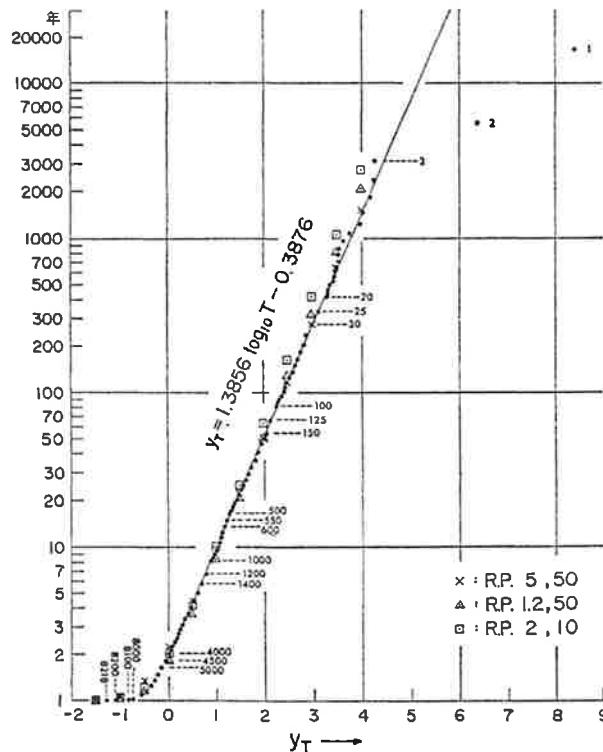


図 6.1.1 SY 法による日本全体の経験的 R.P. 曲線(HAZEN) (鈴木・菊池原, 1984)

図 6.1.1 によると再現期間 100 年に対する y_T は $y_T \approx 2.38$ となることから、各観測地点での 100 年確率日降水量 M_{100} は次式で算出される。

$$M_{100} = 2.38 \times (M_{10} - M_2) + M_2$$

<引用文献>

Linsley, R.K., Kohler, M.A., and Paulhus, J.L., H. (1949): Applied hydrology, Civil Engineering Series, New York, McGraw-Hill.

気象庁統計課（菊池原英和）（1958）：日降水量の再現期間の推定法に関する調査，測候時報，25, pp.181-186.

鈴木昭夫・菊池原英和（1984）：異常豪雨を考慮した日降水量再現期間の推算法，天気, 31, pp.29-39.

葛葉泰久(2015)：既往最大値の再現期間を考慮した日降水量確率分布の推定，水文・水資源学会誌，Vol.28, No.2, pp.59-71.

藤部文昭（2015）：日本における大雨の長期変動，気象庁異常気象分析検討会（平成 26 年度定例会）資料 2-1

岸原信義（1978a）：豪雨に関する研究（I）年最大日雨量の再現期間の推定方法について，日本林学会誌，Vol.60, No.8, pp.298-307.

岸原信義（1978b）：豪雨に関する研究（II）年最大 1 時間雨量の再現期間の推定方法について，日本林学会誌，Vol.60, No.9, pp.340-344.

岸原信義・武蔵哲夫（1981）：異常豪雨は予測できるか（I），水利科学，Vol.25, No.4, pp.1-17.

6.2 國際的な気候変動予測モデルとその適用

国連の気候変動に関する政府間パネル (IPCC) は 2001 年に第 3 次評価報告書を、2007 年に第 4 次評価報告書、2013 年に第 5 次評価報告書を発行した。

IPCC の評価報告書を元に、気候変動予測に関するモデルは国内外で数多く提案されている。それらは大別すると大気海洋結合モデル (Coupled Atmosphere and Ocean GCM:CGCM), 大気モデル (Atmospheric GCM : AGCM), 地域気候モデル (Regional Climate Model) に分けられる。日本の気象研究所はこれら 3 つの気候モデルを 2008 年には既に開発している。表 6.2.1 に国内の気候モデルの一覧を示すが、このように国内においても複数のモデルが存在する。

表 6.2.1 国内の気候モデル一覧 (国土交通省, 2012)

気候変動モデル	MRI-CGCM2.3.2	MRI-ODM20	MRI-ADCM1.1B/H	MRI-ADCM1.2B/H	RCM20 (施設実験用)	MRI-CRIM (施設実験用)	RCM3, RCM2	MRI-OC3.2medres	MRI-OC3.2hrres	MRI-OC4	MRI-OC5 std
使用元	気象庁 きめいじゆう	気象庁 きめいじゆう	気象庁 きめいじゆう	気象庁 きめいじゆう	気象庁 きめいじゆう	気象庁 きめいじゆう	気象庁 きめいじゆう	CCSR, NCES, FRCGC	CCSR, NCES, FRCGC	CCSR, NCES, FRCGC	CCSR, NCES, FRCGC
運行年	2006 年	2006 年	2009 年	2011 年	2004 年	2008 年	2011 年	2014 年	2014 年	2011 年	2011 年
計算対象期間	1951~2000 年 2001~2100 年	1979 年~2003 年 2015 年~2029 年	1979 年~2003 年 2015 年~2029 年	1981~2000 年 2011~2100 年	1981~2000 年 2011~2100 年	1981~2000 年 2011~2100 年	1981~2000 年 2011~2100 年	1980~2000 年 2001~2100 年	1980~2000 年 2001~2100 年	1980~1999 年 2020~2049 年 2080~2099 年	1980~1999 年 2020~2049 年 2080~2099 年
モデル 構成	大気海洋結合モデル	全導大気モデル	全球大気モデル	全球大気モデル	地域気候モデル	大気海洋結合 地図生成モデル	全球大気モデル	大気海洋結合モデル	大気海洋結合モデル	大気海洋結合モデル	大気海洋結合モデル
計算 エラー	全球	全球	全球	全球	日本周辺	日本周辺	日本周辺	全球	全球	全球	全球
水 蒸 気 量 算定 精度	約 250m	約 20m	約 20m~約 60m	約 20m~約 60m	約 20m	約 20m	PCM3.5 ハー PCM4.5 ハー	約 30km	約 10km	約 50m	約 50m
風 速 算定 精度	±0.5°	±0.5°	±0.5°	±0.5°	±0.5°	±0.5°	±0.5°	±0.5°	±0.5°	±0.5°	±0.5°
土じる 気象 要素	地上气温、降水量、 降水量、最高气温、 最低气温、日最高气温、 日最低气温、 風速など	地温、降水量、最高气温、 最低气温、日最高气温、 日最低气温、 風速など	地温、降水量、最高气温、 最低气温、日最高气温、 日最低气温、 風速など	地温、降水量、最高气温、 最低气温、日最高气温、 日最低气温、 風速など	地温、降水量、最高气温、 最低气温、日最高气温、 日最低气温、 風速など	地温、降水量、最高气温、 最低气温、日最高气温、 日最低气温、 風速など	地温、降水量、最高气温、 最低气温、日最高气温、 日最低气温、 風速など	地温、降水量、最高气温、 最低气温、日最高气温、 日最低气温、 風速など	地温、降水量、最高气温、 最低气温、日最高气温、 日最低气温、 風速など	地温、降水量、最高气温、 最低气温、日最高气温、 日最低气温、 風速など	地温、降水量、最高气温、 最低气温、日最高气温、 日最低气温、 風速など
SRES シナリオ	A1B, A2, B2	A1B	A1B	A1B	A2	A1B/B1	A1B	A1B, A2	A1B, A2	RCP4.5, RCP6.0	RCP4.5, RCP6.0
研究者	日本気候のシナリオ シナリオが多い	各プロジェクトでの 設計実績が多数有	IPCC-AR5 向け	IPCC-AR5 向け	地域的な特許実績が 多有り	実技的な特許実績が 多有り	IPCC-AR5 向け	IPCC-AR4 で使用	IPCC-AR5 向け	IPCC-AR5 向け	IPCC-AR5 向け
参考文献	Ishii M. and K. Noda 2002 Yukimoto 2006 和田ほか(文部・ 農林水産省)	Mizuta et al (JMA) 2006 Kusunoki et al (JMA) 2006 和田ほか(文部・ 農林水産省)	毛野ほか(今治海 洋 64 号(2011) Mizuta et al (2011)	気象研究所社報編 員会 64 号(2011) Kusunoki et al (JMA) 2006	Kusunoki et al SOLA 2005	Satoh et al 2006 Satoh et al 2009 Kaneko et al (2011) Sato et al 2011	Kaneko et al (2011) Sato et al 2011	K-1 model development 2004	K-1 model development 2004	Sakamoto et al 2011 Watanabe et al 2010	
その他	■ MRI- www.cgd.mri. clis.nagoya-u.ac.jp/ model/documents/ on_MRI_GCM2 32km	■ A・植物・地質 生態系シナリオで 開発されたモデ ル	■ 21 世紀気候変動 予測系新プログラ ム	■ 21 世紀気候変動 予測系新プログラ ム ■ MRI-CGCM2 の 地質を世界界線 としてダウンスケ ーリング。 ■ MRI-AGCM1.5 で使用しているス キームが異なる	■ 施設、気候統一 シナリオ第 2 版 ■ MRI-CGCM2 の 地質を世界界線 としてダウンスケ ーリング。 ■ 一般的に用いら れている	■ 施設のシナリ オがない	■ 21 世紀気候変動 予測系新プログラ ム	■ MRI- www.cgd.mri. clis.nagoya-u.ac.jp/ model/documents/ on_MRI-OC3.2 hr 36km	■ 21 世紀気候変動 予測系新プログラ ム	■ 21 世紀気候変動 予測系新プログラ ム ■ 詳しい物理モ デルを開発・使用	
データ出力 可能地	入手不可能	入手可能 (OMAS プロジェクト)	入手可能	入手可能	一般に提供されている	一般に提供されている	利用可能なが、確 かに開発されている	入手可能	入手可能	入手可能	入手可能

この中で、気象庁&環境省 (気象庁・環境省, 2014) や国土交通省 (2017) で取り上げている気候変動予測計算のシナリオは「今後の社会・経済動向の想定から算出される SRES シナリオ」と「政策的な緩和策を前提として、将来、温室効果ガスをどのような濃度に安定化させるかという考え方から算出する RCP (代表的濃度経路) シナリオ」である。SRES シナリオは IPCC 第 3 次評価報告書 (2001 年) で扱う気候予測に用いるシナリオとして IPCC が 2000 年に発表したもので、RCP シナリオは、SRES シナリオに代わり第 5 次評価報告書 (2013 年) で扱う気候予測に用いるシナリオとして IPCC が 2007 年に発表したものである。

図 6.2.1 に RCP シナリオと地球温暖化に関する 2 つの指標の予測値の関係を示す。ここに、放射強制力 (ほうしやきようせいりょく) とは、気候学における用語で、地球に入り込むエネルギーが地球の気候に対して持つ放射の大きさのことである。英語の "Radiative forcing" の訳語である。正の放射強制力は温暖化、負の放射強制力は寒冷化を起こす (wikipedia より)。

この図のように RCP シナリオには地球温暖化に関する極端な複数のシナリオが用意されている。

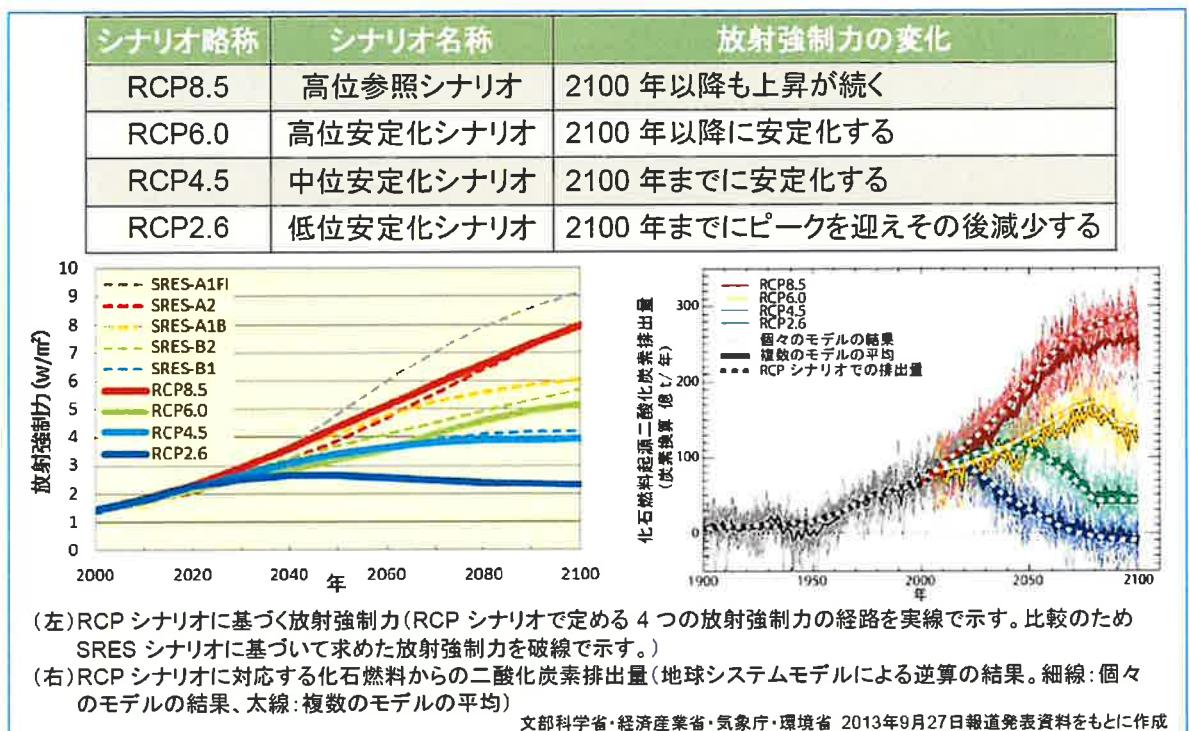


図 6.2.1 RCPシナリオと地球温暖化に関する2つの指標の予測値（気象庁・環境省, 2014）

表 6.2.2 気象庁・環境省（2014）での予測計算ケース一覧

- 現在気候3ケース、将来気候18ケースの計21ケースについて計算を実施した。予測に含まれる不確実性の程度を評価できるように、複数のケースを設定した。※

※データを利用するにあたっては不確実性のすべての要素を考慮しているわけではないことに注意が必要である。今回のケースは排出シナリオの不確実性に加え、日本付近において重要と考えられる降水プロセスに影響を与える主要な要因として海面水温と積雲対流スキームの不確実性を考慮して設定した。CMIP5データセットと比較して考慮している不確実性の要素が少なく、例えば気温上昇量の予測の幅は小さくなっている（参考資料Ⅷを参照）。

番号	計算期間	排出シナリオ	海面水温	積雲対流スキーム	ケース名
1	現在気候 3ケース	-	HadISST	YS	HPA_m02
2			HadISST	KF	HPA_kf_m02
3			HadISST	AS	HPA_as_m02
4	将来気候 18ケース	RCP8.5 9ケース	SST1	YS	HFA_rcp85_c1
5			SST1	KF	HFA_kf_rcp85_c1
6			SST1	AS	HFA_as_rcp85_c1
7			SST2	YS	HFA_rcp85_c2
8			SST2	KF	HFA_kf_rcp85_c2
9			SST2	AS	HFA_as_rcp85_c2
10			SST3	YS	HFA_rcp85_c3
11			SST3	KF	HFA_kf_rcp85_c3
12			SST3	AS	HFA_as_rcp85_c3
13	RCP6.0 3ケース	-	SST1	YS	HFA_rcp60_c1
14			SST2	YS	HFA_rcp60_c2
15			SST3	YS	HFA_rcp60_c3
16	RCP4.5 3ケース	-	SST1	YS	HFA_rcp45_c1
17			SST2	YS	HFA_rcp45_c2
18			SST3	YS	HFA_rcp45_c3
19	RCP2.6 3ケース	-	SST1	YS	HFA_rcp26_c1
20			SST2	YS	HFA_rcp26_c2
21			SST3	YS	HFA_rcp26_c3

RCP4.5の2ケース(c2,c3)は平成26年度に計算を実施

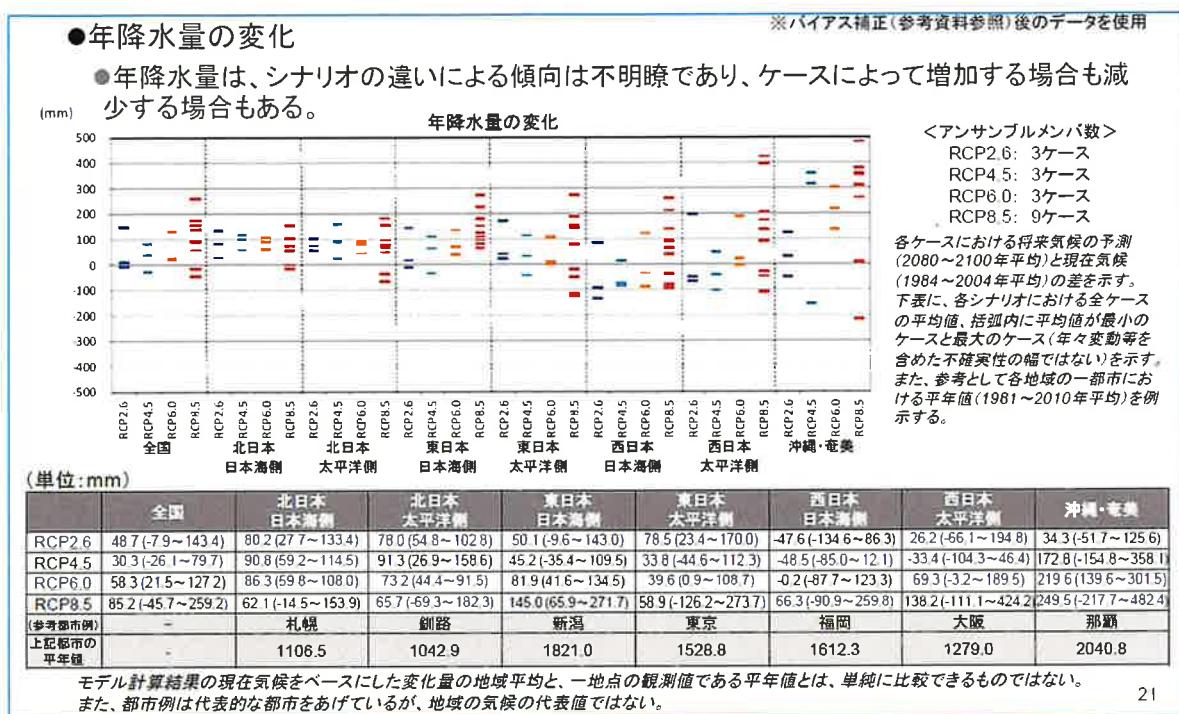


図 6. 2.2 RCP シナリオによる年降水量の変化予測（気象庁・環境省,2014）

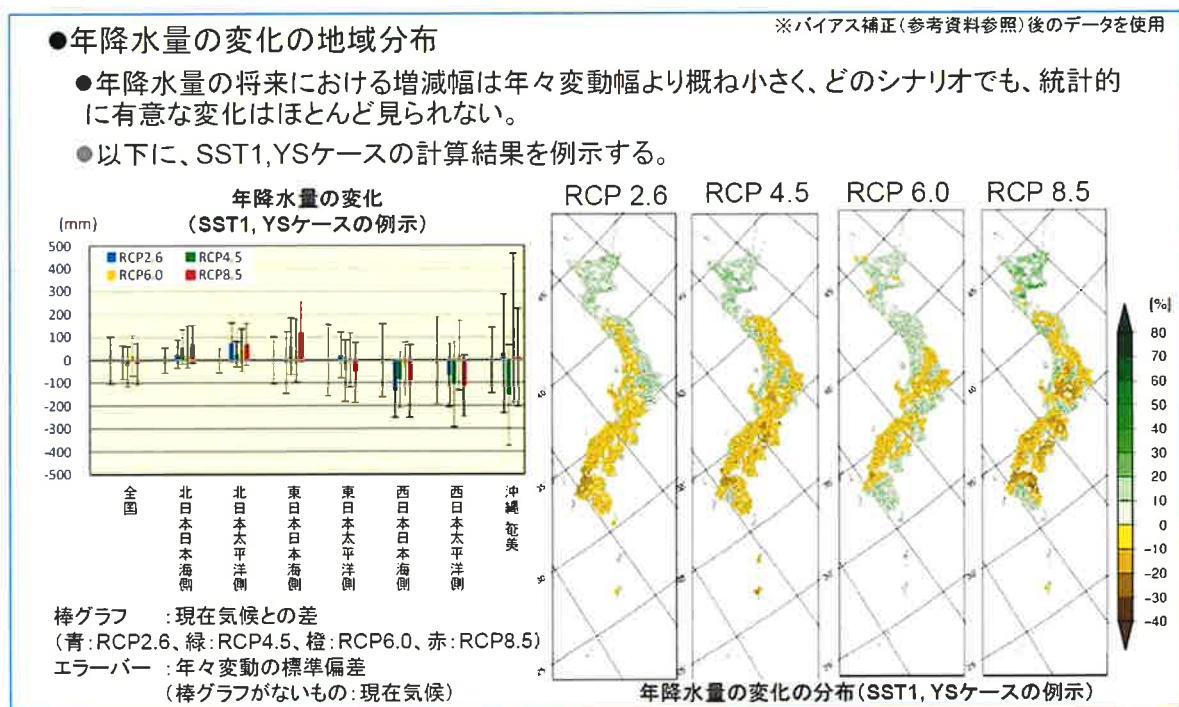


図 6. 2.3 RCP シナリオによる年降水量の変化の地域分布（気象庁・環境省, 2014）

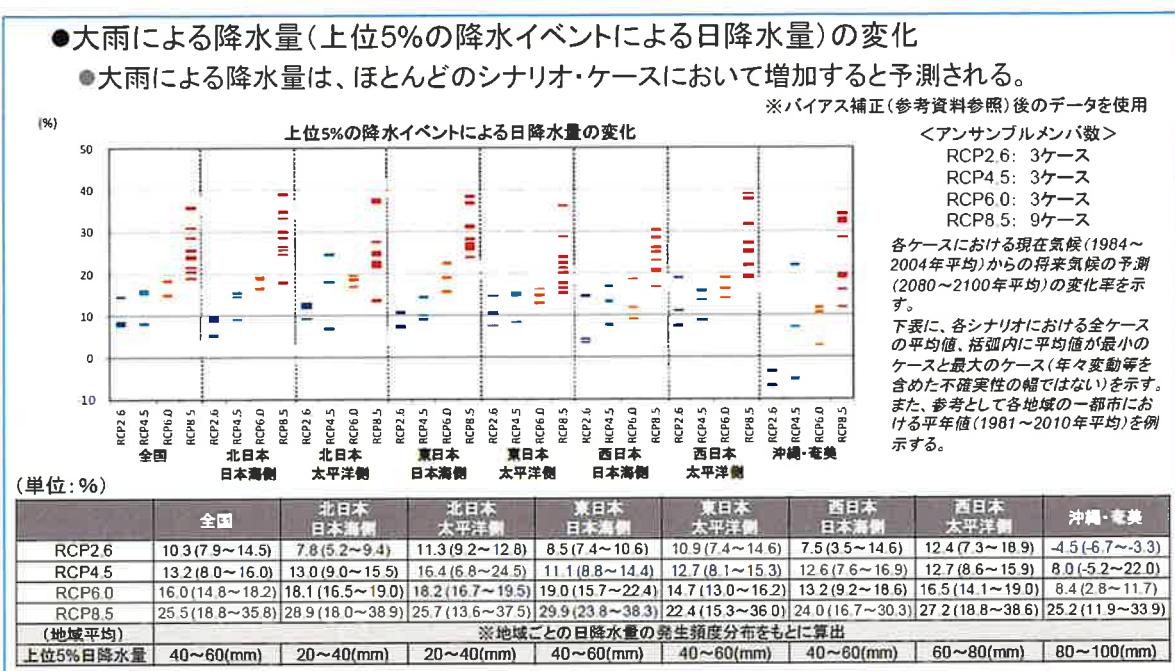


図 6.2.4 RCP シナリオによる大雨の降水量の変化予測 (気象庁・環境省, 2014)

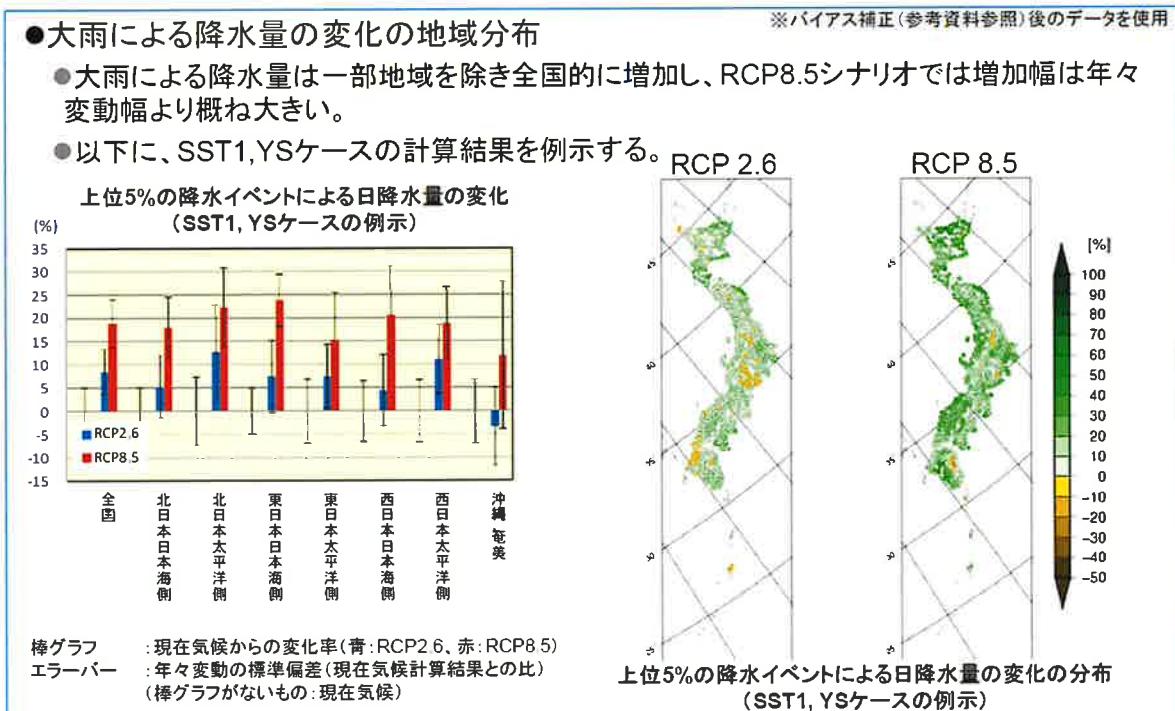


図 6.2.5 RCP シナリオによる大雨の降水量の変化の地域分布測 (気象庁・環境省, 2014)

国土交通省(2017)はこれらの国際的な気候変動予測モデルを用いて河川・海岸分野の気候変動適応策を検討している。気候変動が治水施設に与える影響について、評価する4つの指標を定義している。この4つの指標は雨量倍率、流量倍率、河川整備労力倍率、氾濫可能性倍率である。この中で治山施設にも適用が可能と思われる雨量倍率に着目すると、これは気候予測モデルの降雨量の予測データ

タから直轄 109 水系別に、各計画雨量継続時間の年最大雨量の現在に対する将来の比である。

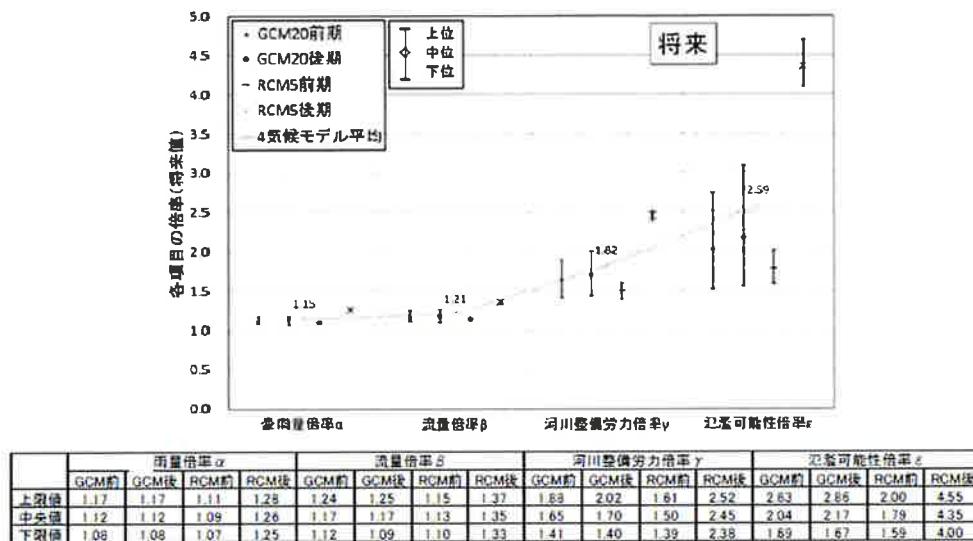


図 6.2.6 雨量倍率、流量倍率、河川整備労力倍率、氾濫可能性倍率の比較（国土交通省、2017）

図 6.2.6 に 4 つの指標を比較した図を示す。この中で雨量倍率は平均で 1.15 倍となっている。

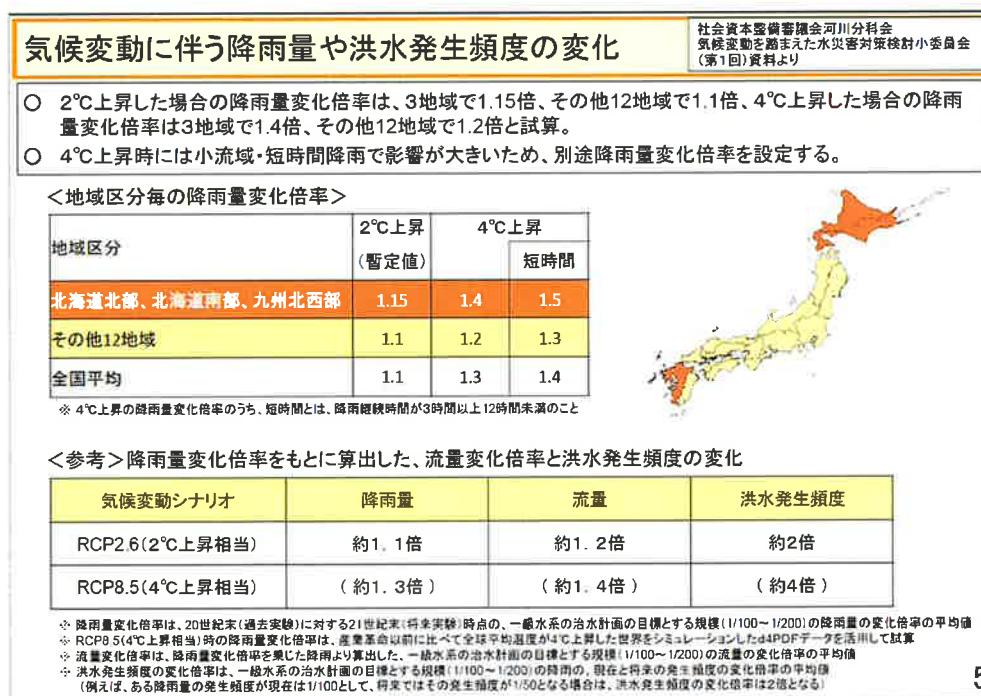


図 6.2.7 「気候変動を踏まえた砂防技術検討会」第1回検討会に出された雨量倍率等の資料（国土交通省, 2020a）

以下は IPCC 第 5 次評価報告書での気候変動の説明である（国土交通省,2019）。

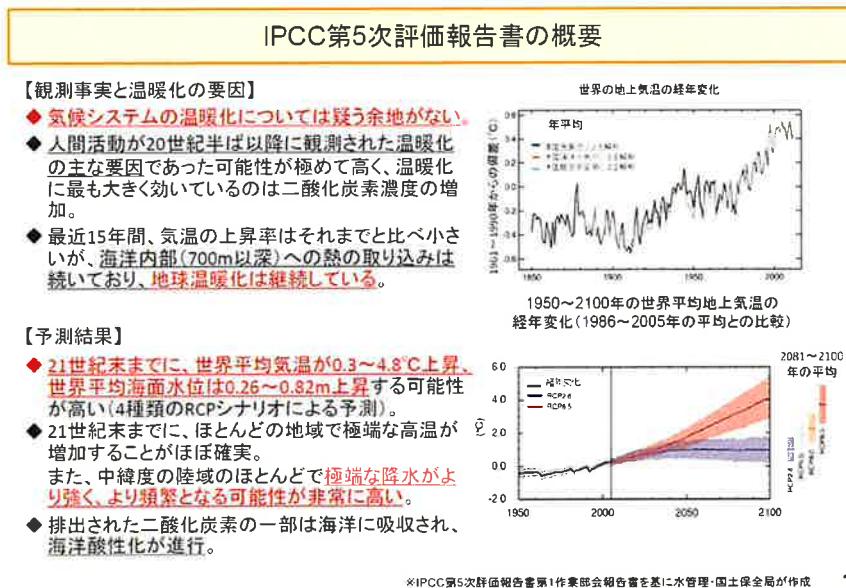


図 6. 2.8 国土交通書の小委員会で提示された IPCC 第 5 次評価報告書の概要（国土交通省,2019）

<引用文献>

国土交通省（2012）：水資源分野における気候変動への適応策のあり方検討会、第1回、資料1これまでの検討結果について、

国土交通省（2017）：河川・海岸分野の気候変動適応策に関する研究－「気候変動下での大規模水災害に対する施策群の設定・選択を支援する基盤技術の開発、国総研プロジェクト研究報告第56号

国土交通省（2019）：「気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会」第1回配布資料4

国土交通省（2020a）：「気候変動を踏まえた砂防技術検討会」第1回検討会（2020/1/8）資料

国土交通省（2020b）：「気候変動を踏まえた砂防技術検討会」第2回検討会（2020/5/21）資料

気象庁・環境省(2014)：報道発表 2014/12/12 「日本国内における気候変動予測の不確実性を考慮した結果について」 (<http://www.env.go.jp/press/19034.html>, 2020/6/1 参照)

6.3 従来の予測手法を用いた事例

国土交通省（2017）は都市雨水排水対策の視点からの気候変動影響の評価に従来の超過確率雨量強度算出手法を活用している。その結果をうけて降雨シナリオをA,B,Cの3種類想定している。

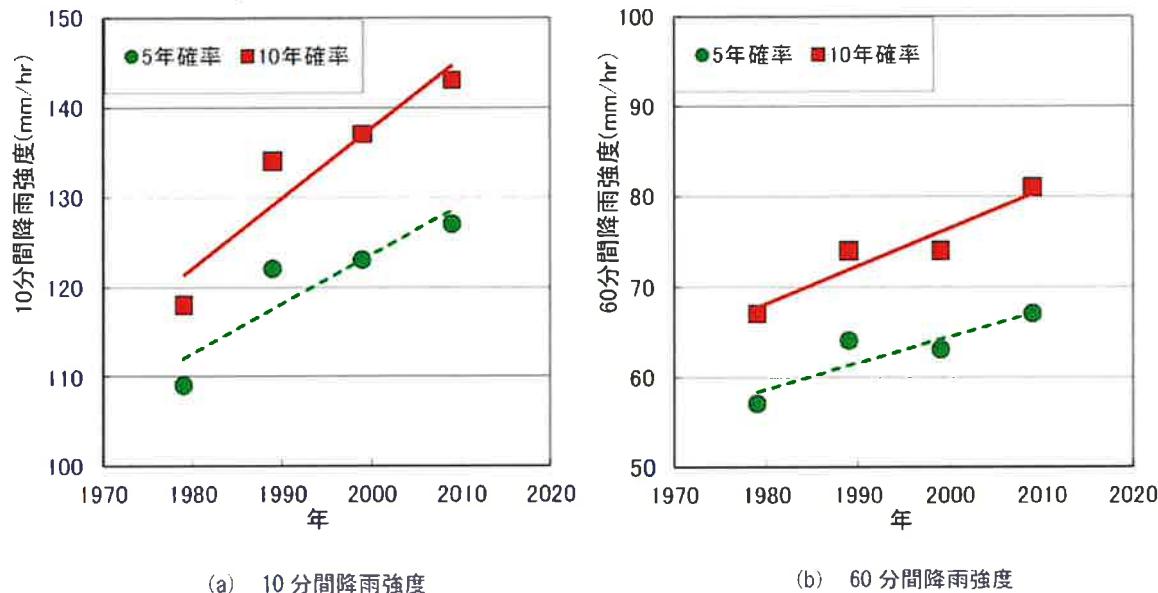


図 6.3.1 超過確率年5年および10年の降雨強度の変化傾向の事例（名古屋地方気象台）（国土交通省,2017）

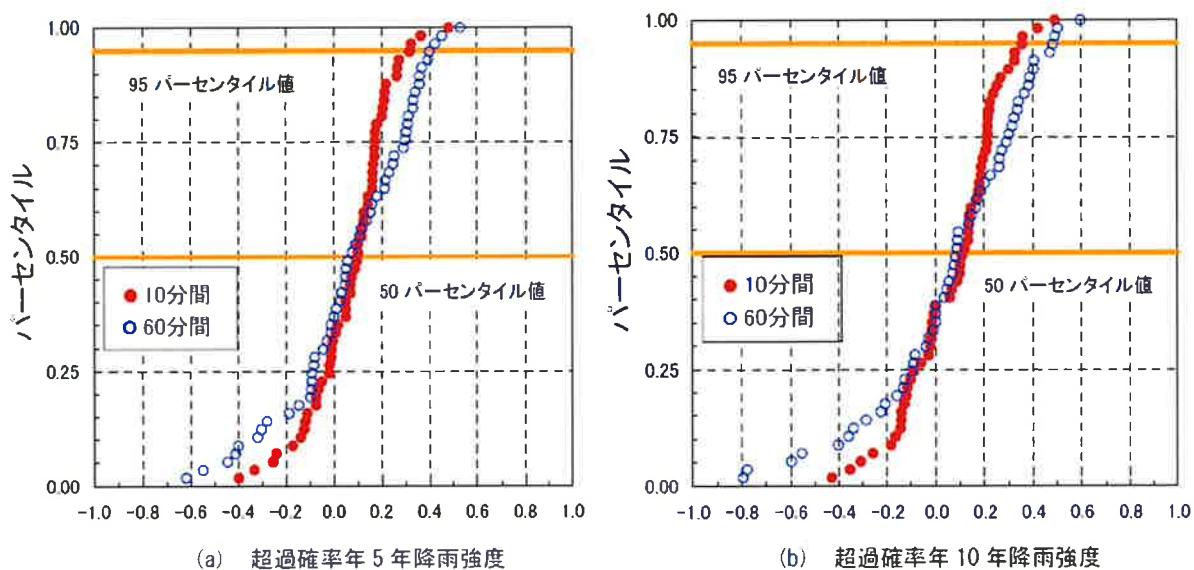


図 6.3.2 全国57気象台における10分・60分間高強度の増加率（国土交通省,2017）

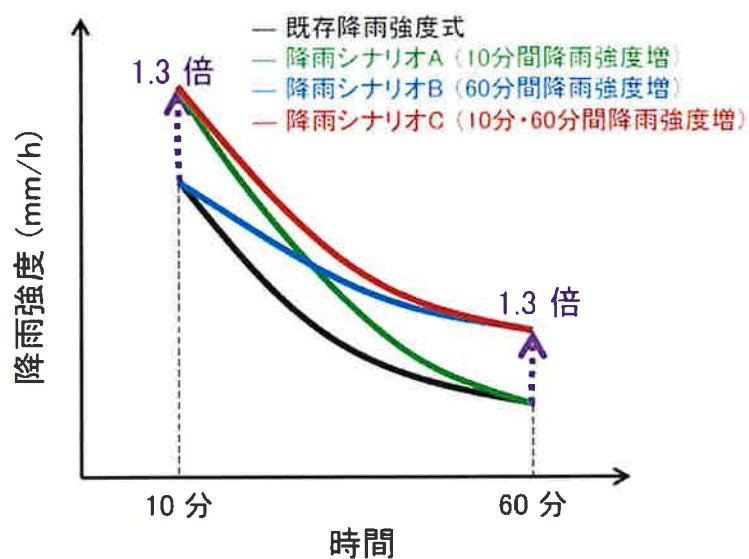


図 6.3.3 降雨シナリオ設定イメージ (国土交通省, 2017)

<引用文献>

国土交通省 (2017) : 河川・海岸分野の気候変動適応策に関する研究－「気候変動下での大規模水災害に対する施策群の設定・選択を支援する基盤技術の開発」、国総研プロジェクト研究報告第 56 号

6.4 アンサンブル予測雨量などのリアルタイム予測雨量の治山分野での活用

治水分野では 84 時間後までのアンサンブル予測雨量を使ってダムの洪水調節管理を行っている。アンサンブル予測雨量のようなリアルタイムの短時間予測雨量を治山事業の中で活用する方法は無いと考えられる。

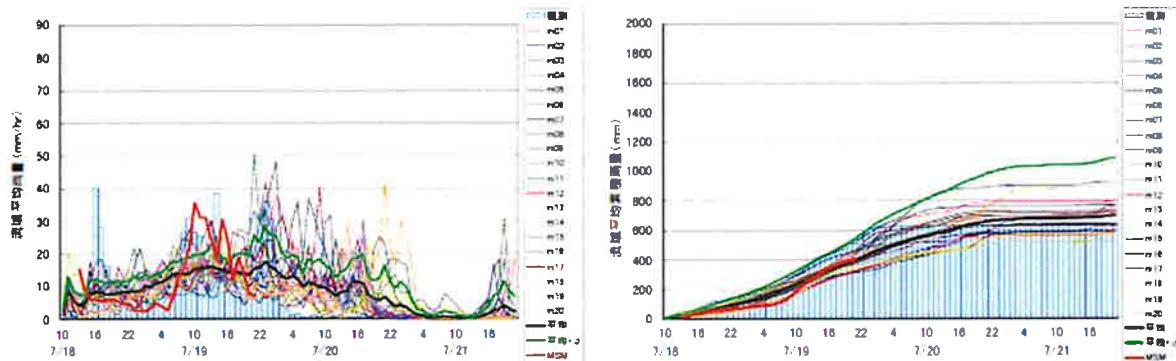


図-III-2.4.2.4.6 7月18日9時（ダム流入量が洪水調節開始流量に到達する約1日前）のGSMを初期値とした
Aダム流域平均雨量の84時間予測結果（左：84時間の時系列、右：積算雨量）

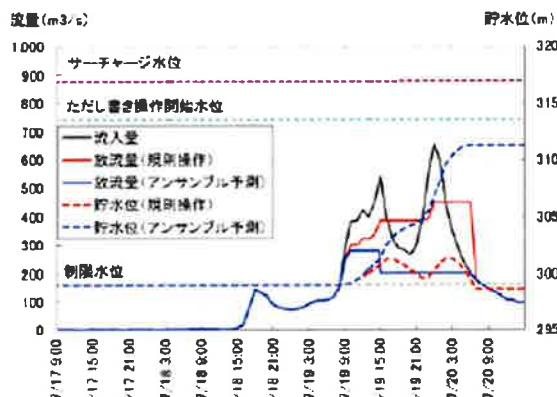


図-III-2.4.2.4.7 台風6号時のAダムの流入量、放流量および貯水位の時系列

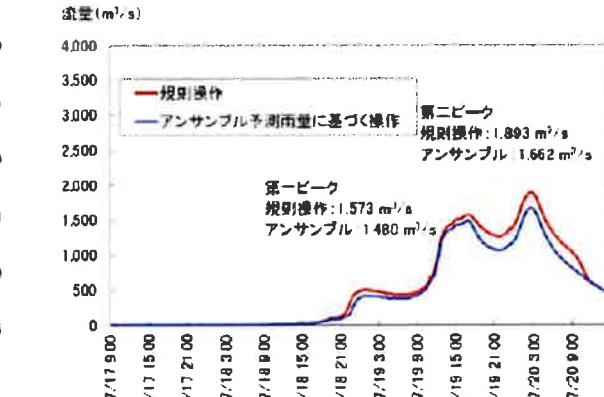


図-III-2.4.2.4.8 台風6号時のC地点の流量時系列

<引用文献>

国土交通省 (2017) : 河川・海岸分野の気候変動適応策に関する研究－「気候変動下での大規模水災害に対する施策群の設定・選択を支援する基盤技術の開発」、国総研プロジェクト研究報告第 56 号

6.5 d4PDF を利用した確率雨量の補正

文部科学省の「気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）」では、全国の地方自治体等が行う気候変動対策の検討・策定に生かされる気候変動予測技術、適応技術の開発を目的としており、岐阜県はモデル自治体の一つとして、水災害、土砂災害のリスク変動と社会構造の変化に適応する方策について検討している（児島ほか, 2018）。児島ほか (2018) は岐阜県内の地上雨量計の観測データと d4PDF の現在気候（1950/9/1～2011/8/31）を用いて、それぞれについて極値解析を実施して最適な確率分布関数を選定した上で、両者の確率降水量の比較を行い、両者の補正式を提案している。

図 6.5.1 は d4PDF と地上雨量計の確率降雨量を降雨積算時間ごとに比較し、関係式を示したものである。このプロット点は岐阜県を 20km メッシュで区切った地域ごとの解析結果で、再現期間 T が、10 年、20 年、100 年の値が含まれている。同じ確率年で比較すると図 6.5.2 のような関係となる。

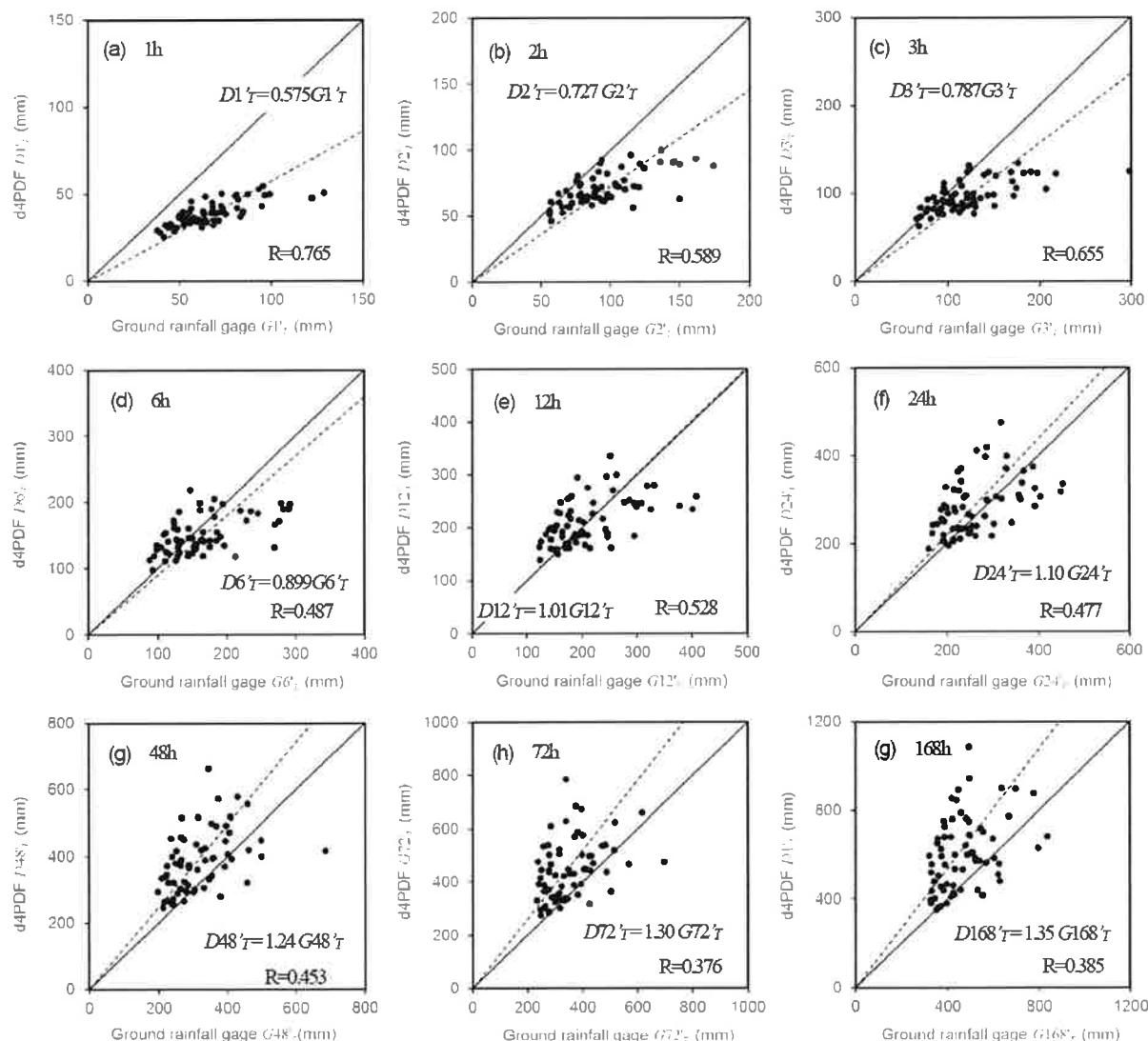


図 6.5.1 d4PDF と地上雨量データの積算時間ごとの確率降雨量の比較（児島ほか, 2018）

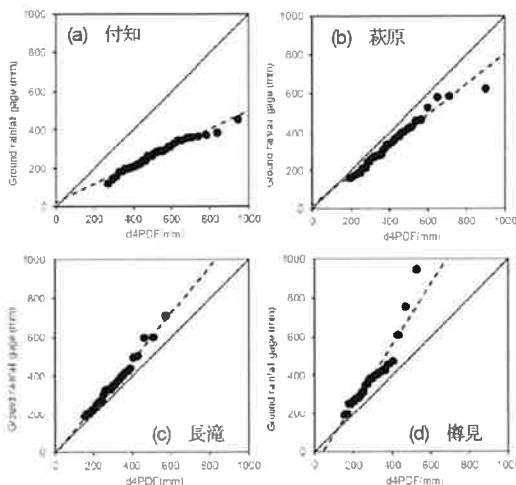


図 6.5.2 同じ確率年の 168 時間降雨量の比較 (児島ほか, 2018)

児玉ほか (2018) の方法は d4PDF の現在気候のデータを用いた解析であるが、同様の極値解析は d4PDF 将来予測データ(5400 年分)を用いても可能である。

今後は、d4PDF のデータを治山施設の計画にどのように適用が可能であるかを検討する必要がある。

<引用文献>

児島利治・丸谷靖幸・原田守啓 (2018) : 岐阜県を対象とした 20km メッシュ d4PDF 確率降雨量の補正式の提案, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.74, No.5, I_133-I_138.

6.6 治水分野での気候変動予測データの活用方針

国土交通省(2017)は治水分野における気候変動予測データの活用方針を以下のように示している。

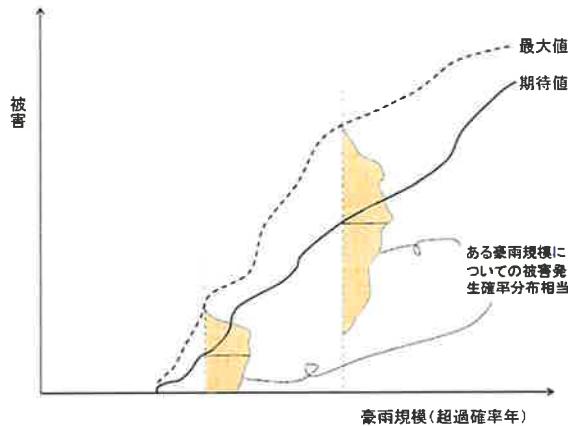


図 6.6.1 治水分野での氾濫生起シナリオ設定手法における被害発生確率分布の考え方（国土交通省, 2017）

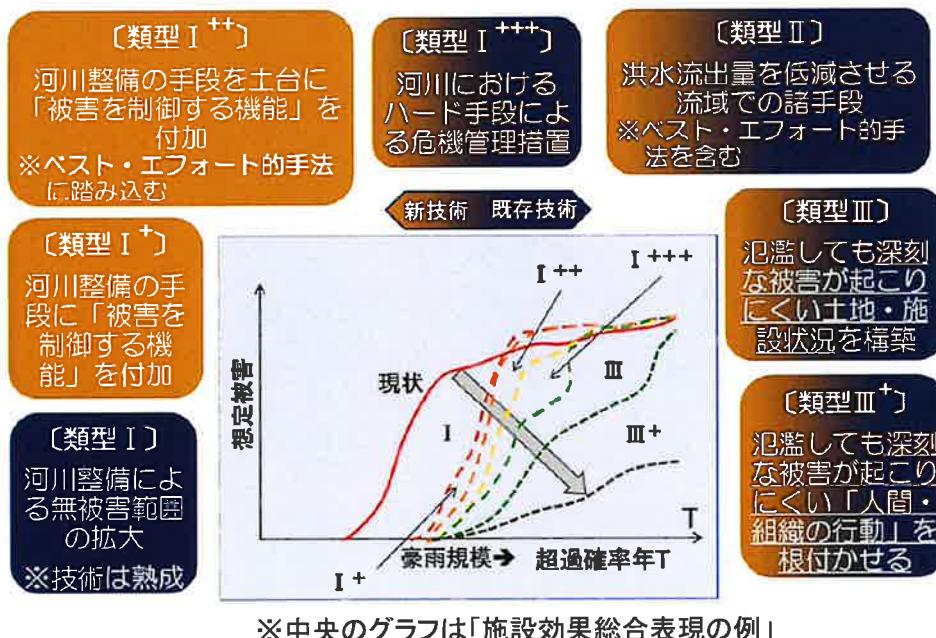


図 6.6.2 治水施設対策の類型と「被害－豪雨規模関係制御」の関係（国土交通省, 2017）

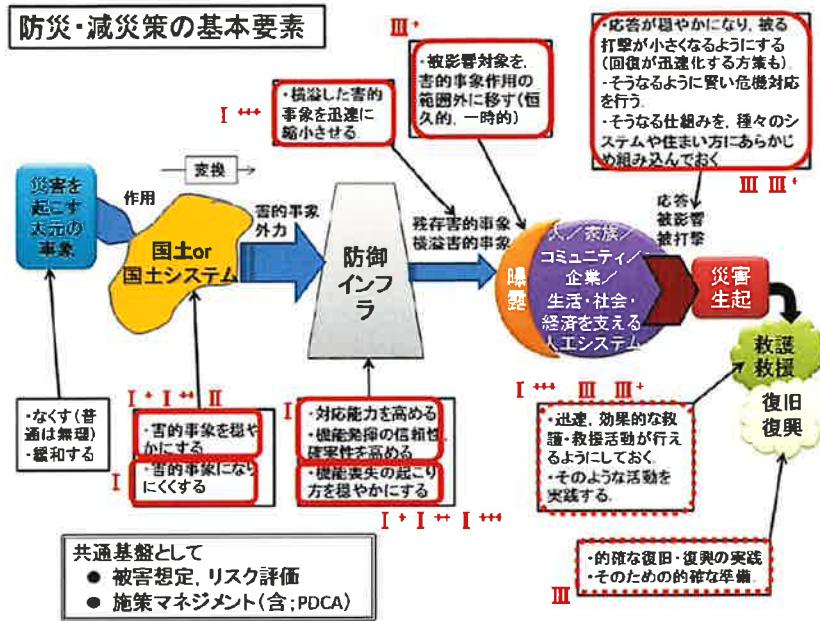


図 6.6.3 治水分野における防災・減災方策を構成する基本要素と施設類型との関係（国土交通省, 2017）

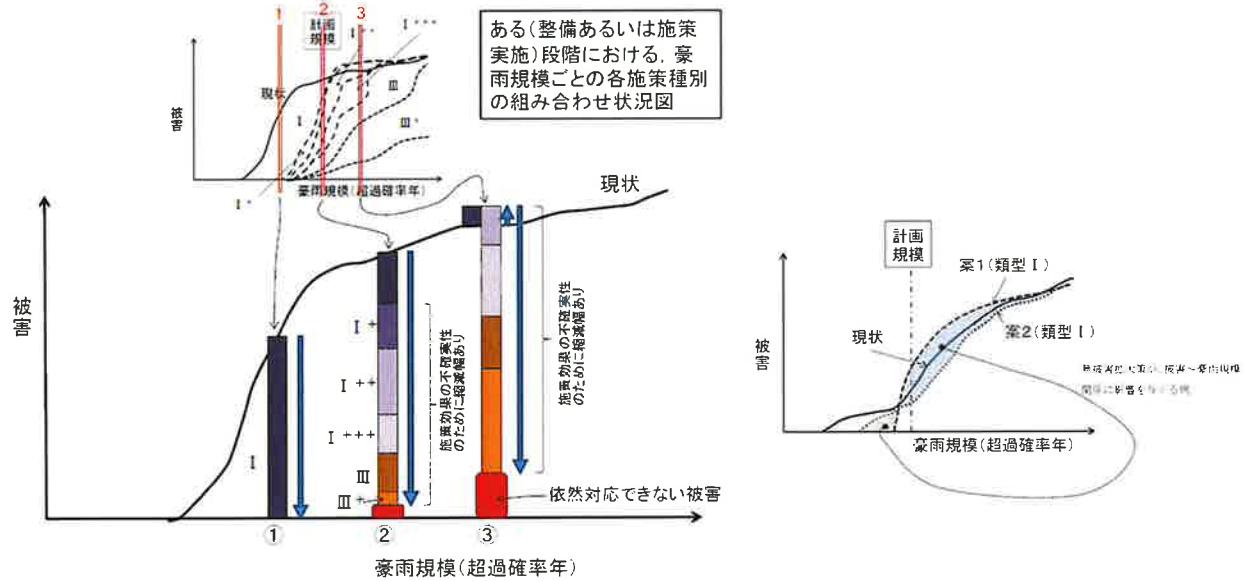


図 6.6.4 施設効果総合表現図の活用イメージ：豪雨規模に応じた施設組み合わせの意味のあり方の検討（国土交通省, 2017）

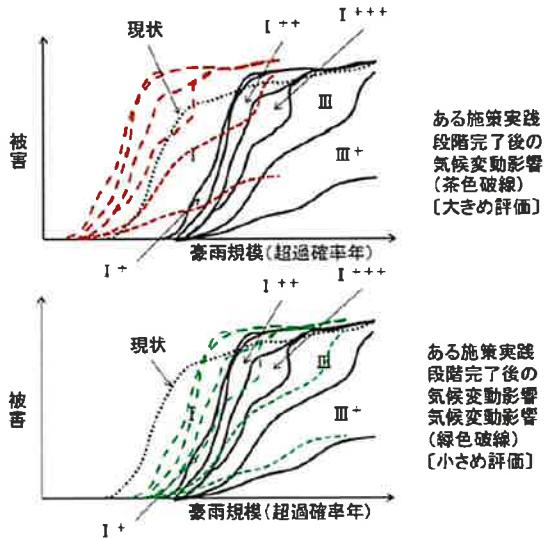


図 6.6.5 施設効果総合表現図による気候変動影響の表現（上が強めの影響の場合、下が弱めの影響の場合）（国土交通省，2017）

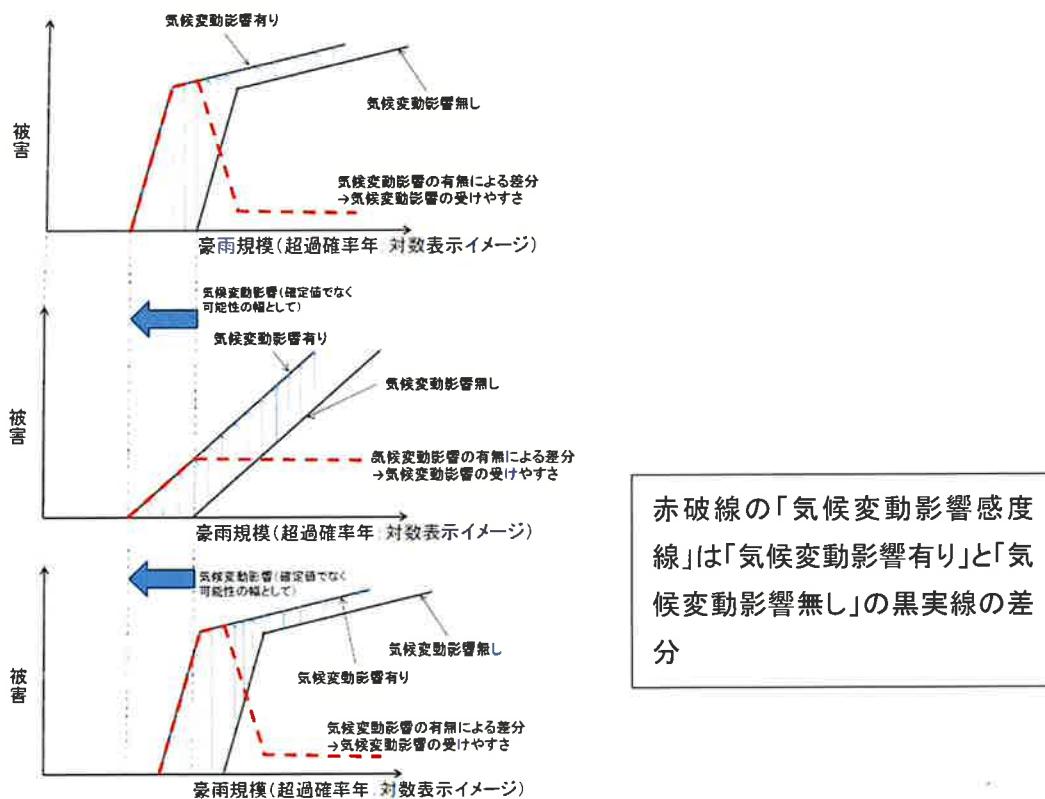
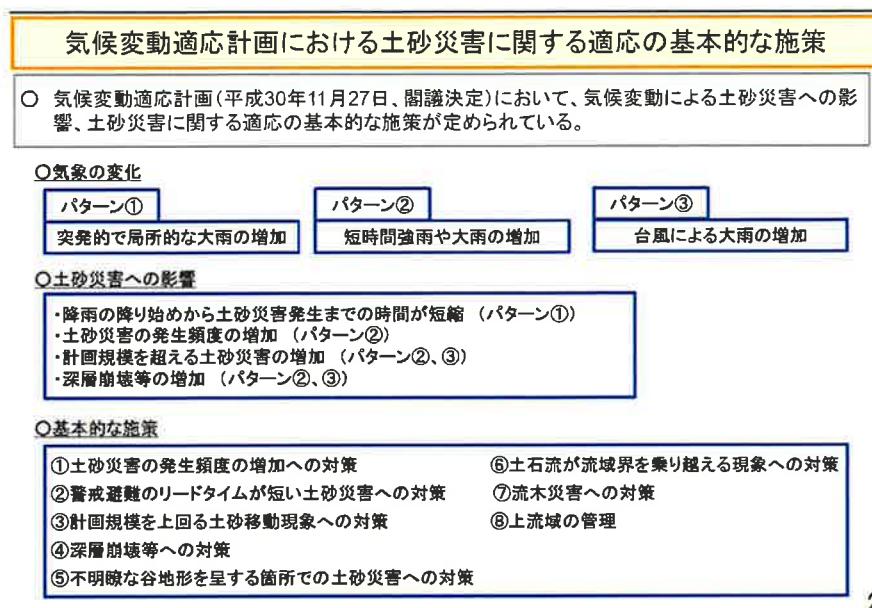
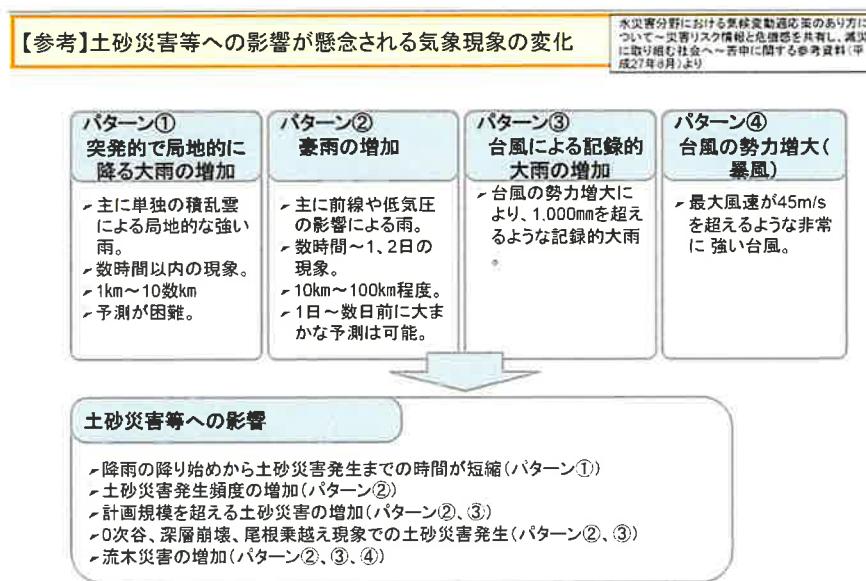


図 6.6.6 施設効果総合表現図を用いた気候変動への適応度の検討（黒実線は被害－豪雨規模関係、赤破線は気候変動影響感度線）（国土交通省，2017）



2

図 6.6.7 気候変動適応計画（2018年閣議決定）における土砂災害対策の基本的な施策（国土交通省, 2020a)



3

図 6.6.8 土砂災害等への影響が懸念される気象現象の変化（国土交通省, 2020）

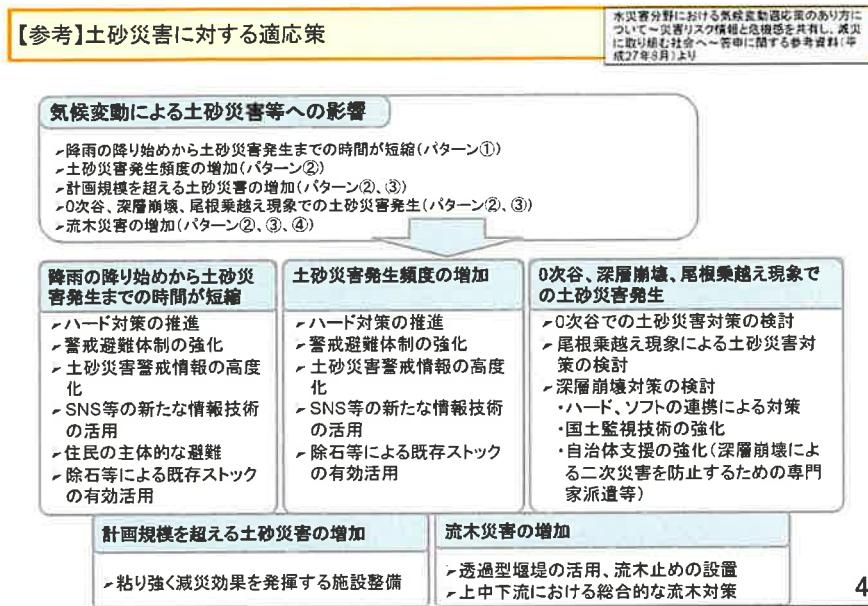


図 6.6.9 治水分野における土砂災害に対する気候変動適応策の現状 (国土交通省,2020a)

<引用文献>

国土交通省 (2017) : 治水分野における土砂災害に対する気候変動適応策に関する研究－「気候変動下での大規模水災害に対する施策群の設定・選択を支援する基盤技術の開発」、国総研プロジェクト研究報告第 56 号

国土交通省 (2020a) : 「気候変動を踏まえた砂防技術検討会」第 1 回検討会 (2020/1/8) 資料

国土交通省 (2020b) : 「気候変動を踏まえた砂防技術検討会」第 2 回検討会 (2020/5/21) 資料

6.7 治山分野で今後利用する気象現象の予測手法について

国際的な気候変動予測モデルなどでは、気候変動に伴い水災害や土砂災害のリスクが増大するとしており、気候変動に伴ってそれらのリスクが減少するという予測は無い。豪雨の予測は治山施設の計画規模の決定において重要であり、暴風の予測も風倒木対策では重要となる。

確率水文量などを治山施設の計画規模や設計に反映するのは、治山堰堤の計画高水流量と土石流ピーク流量、土石流流体力の算出である。計画高水流量は土石流ピーク流量算出や放水路断面の形状検討に利用される。これまでに検討を行った気候変動を考慮した気象現象の予測手法の中で、治山分野に適用可能な手法は以下の3種類であると考える。

- ①従来の手法を改良した極値解析手法を用いる方法
- ②国際的な気候変動予測モデルを用いる方法
- ③d4PDFを利用する方法

今後の治山施設の計画・設計における気象現象の予測手法の方向性としては以下の3つの方向性が考えられる。

- ①極値解析手法を用いる従来の手法をそのまま利用する。
- ②従来の方法と気候変動を考慮した気象現象の予測手法を、治山施設によって使い分ける。
- ③気候変動を考慮した気象現象の予測手法に全面的に変更する。