

急傾斜地への都市化の進展と土砂災害 の関連性に関する研究

横山 勝英¹・田内 裕人²・天口 英雄¹・河村 明¹

¹正会員 首都大学東京 都市基盤環境コース (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

²正会員 和歌山大学 環境システムコース (〒640-8510 和歌山市栄谷 930 番地)

* E-mail:k-yoko@tmu.ac.jp

神奈川県横浜市・川崎市を対象として、都市圏における地理形的特徴、土地利用の変化、土砂災害の特徴を考察した。1974 年から 2006 年にかけて、建物用地の面積率が 1.5 倍増加し、低平地と丘陵が接する急傾斜地に都市開発が進行している様子が見られた。丘陵地帯の土砂災害と傾斜角を対応づけるには、12.5 m 格子が適切であることを示した。災害発生日の隣接格子の傾斜角を用いると、宅地裏のけけ地を表現できることを明らかにした。両市では傾斜角が 15~25 度の斜面で最も土砂災害が多いことを示した。40 年間で 15 mm/h の強雨回数が増加傾向にあることを示した。宅地開発が急傾斜地に迫り、そこに隣接した宅地で被害が出ているため、降雨要因も含めた土砂災害のリスクは増大していると考えられる。

Key Words: sediment disaster, steep slope, urbanization, grid scale, heavy rainfall

1. はじめに

近年、気候が極端化しており、100 mm/h を超える極端な雨が発生している。全国の AMeDAS 観測所における 50 mm/h 以上の降雨回数を引用し¹⁾ (図-1)、これを 10 年ごとに平均すると、1976 年~1985 年は約 174 回であったのが、2006~2015 年は約 232 回と 1.33 倍に増加している。土砂災害も各地で頻発しており、土砂災害発生件数の全国統計²⁾を同様に整理すると (図-2)、1978 年~1985 年の年平均値は 855 回、2006 年~2014 年は 1075 回となり、1.26 倍に増えている。そのため、豪雨と土砂災害には関連性がありそうだが、同じ場所の比較ではないので、より詳細な検討が必要である。

川越ら³⁾は日本全土を対象として、降雨、地形、地質情報から 1 km メッシュの斜面崩壊発生確率を推定しており、地球温暖化による災害影響人口の変化を推計している。このなかで、人口が集中する平野に近接する領域で斜面崩壊リスクが高くなることを示している。

土砂災害が発生する豪雨以外の要因として、災害ポテンシャルの高い場所に居住域が広がっていることが挙げられる。2014 年 8 月には広島県で大規模な土砂崩れが多数発生し、家屋の損壊が 429 棟、死者が 74 名という大災害になった⁴⁾。これは住宅開発が山際に迫り、土石流が住宅街を直撃したことが原因と言われている。つまり、人為的要因と自然的要因の両者を検討する必要がある。

1969 年に「急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律」が施行されてから⁵⁾現在に至るまで、図-2 に示すように土砂災害が増加し続けていることから、災害要因を場所ごとに整理することが重要と考えられる。

三隅ら⁶⁾は神奈川県を対象として、レーダー雨量による降雨特性と土砂災害の関係を解析しており、このなかで建物用地率や斜面勾配との関連性にも言及している。このなかで、勾配が 4~6 度で土砂災害発生頻度が高いものの、解析に用いているレーダー格子が 500 m であって、実際の斜面空間スケールは数 m であるために、両者が対応しているとは限らないと述べている。

川越ら⁷⁾は東京都を対象として、実効雨量と地形・地質情報と土砂災害の関連性を 50 m 格子で解析しており、土砂災害発生日の実効雨量と斜面傾斜度の間には規則的な関係性が認められないとしている。一方で、災害が発生した当該格子の周辺情報として起伏量を用いると、関係性が明確になると述べている。

天然の山地斜面は格子スケールが 50~500 m であっても、空間情報がその中で均一であることが多いので、上記スケールで議論することができるが、都市域では時間的にも空間的にも複雑に斜面開発が進行しているため、家 1 軒単位に絞った詳細な検討が必要と考えられる。そこで本研究では、斜面都市の代表例として神奈川県横浜市と川崎市を対象として、土地開発と降雨の経年変化を調べ、土砂災害との関連性を検討した。

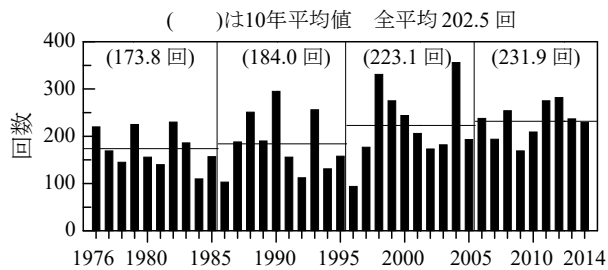


図-1 50 mm/h以上の降雨回数

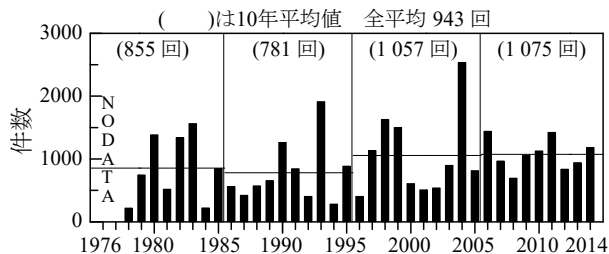


図-2 土砂災害発生件数

2. 研究方法

(1) 研究対象領域

研究対象地は神奈川県横浜市と川崎市である（図-3）。両市の合計面積は 580.1 km² である。低平地は多摩川や鶴見川沿いと東京湾岸にあるものの、市域の大半が多摩丘陵となっている。人口は横浜市が 371 万人で、政令指定都市の中で最大である。川崎市は 147 万人で 7 位である。人口密度は横浜市が 1 km² あたり 8,500 人、川崎市が 10,308 人であり非常に高い。

神奈川県は土砂災害の多い地域である。国土交通省砂防部の資料⁸⁾を集計すると、2007 年～2014 年の 8 年間の土砂災害の発生件数は、47 都道府県平均で年 22 件である。これに対して、神奈川県は年 74 件であり、全国 1 位～8 位という最上位の中にある。また、土石流、地滑り、がけ崩れの 3 つの合計災害件数に対するがけ崩れ件数の割合は、全国平均が 65 %であるのに対して、神奈川県は 98 %となっている。これより、県内の土砂災害はがけ崩れがほぼ全てであって、都市域特有の特徴を示していると考えられる。

(2) 使用データと分析方法

本研究における使用データは、(1) 国土地理院・基盤地図情報（数値標高モデル DEM）10 m メッシュ、(2) 国土地理院・数値地図 50m メッシュ、(3) 国土地理院・土地利用細分メッシュデータ、(4) 神奈川県土砂災害さくマップ、(5) 気象庁アメダス雨量記録である。

まず、地理情報システム解析ソフト ArcGIS を用いて、(1)の DEM を取り込んで 12.5 m 格子地形を、(2)の DEM から 50 m 格子地形を作成した。12.5 m としたのは、後述するように住宅の区画面積に合わせるためである。さ

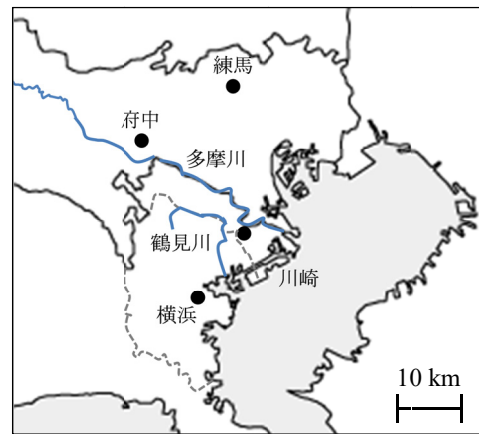


図-3 研究対象地

表-1 土地利用コードの整理

コード	1976年	1987年	1991, 1997年 2006年	本研究
1	田	田	田	田
2	畑	畑	その他の農用地	
3	果樹園	果樹園	—	その他の農用地
4	その他の樹木畑	その他の樹木畑	—	
5	森林	森林	森林	森林・荒地
6	荒地	荒地	荒地	
7	建物用地A	建物用地	建物用地	
8	建物用地B	—	—	建物用地
9	幹線交通用地	幹線交通用地	幹線交通用地	幹線交通用地
A	その他の用地	その他の用地	その他の用地	その他の用地
B	湖沼	内水地	河川地・湖沼	
C	河川地A	—	—	河川地・湖沼
D	河川地B	—	—	
E	海浜	海浜	海浜	海
F	海水域	海水域	海水域	
G	—	—	ゴルフ場	その他の用地

らに、ArcTool の傾斜角計算ツールを用いて、当該セルに隣接する 8 セルの標高値から平均傾斜角を算出した。

土地利用は 100 m 格子情報であり、1976 年、1987 年、1991 年、1997 年、2006 年の 5 ヶ年分のデータを ArcGIS に取りこんだ。ここで、土地利用の分類コードが年度によって異なり、11～15 種類あったため、これを 8 種類に整理統合した（表-1）。

土砂災害情報は、1974 年から 2004 年までの災害が神奈川県土砂災害さくマップとして整理され、web 上で公開されている⁹⁾。そこで、web 画面をスクリーンショットし、そのラスタ画像を ArcGIS に取り込み、手作業で 766 ヶ所の地点座標を付与した。なお、web 上で公表されているのは地点のみであり、災害発生年の情報は取りこめていない。

降雨記録は、気象庁アメダスの web サイトから、1976 年から 2015 年までの 40 年間の横浜、府中、練馬の日最大 1 時間雨量を抽出した。横浜観測所は研究領域の東端に、府中観測所は若干領域外になるが西端に位置し、練馬観測所は局地的豪雨が発生しやすい代表地点として選定した。これから、時間雨量が 15 mm/h、30 mm/h、50 mm/h を超える日数を年別に集計した。

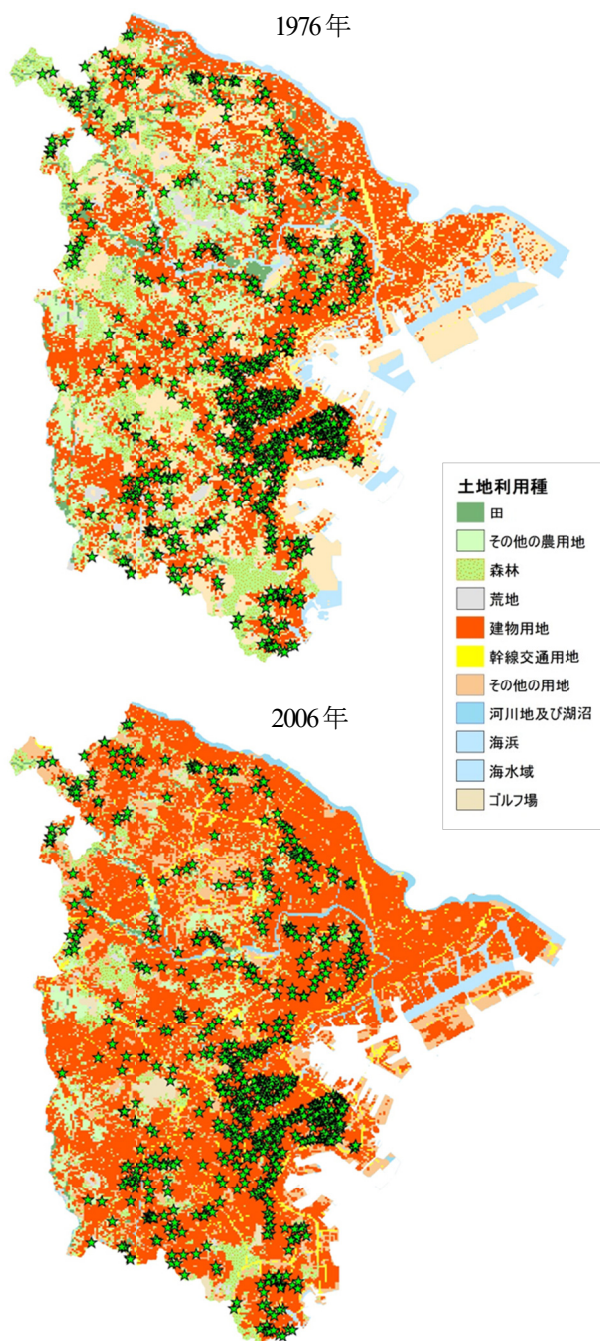


図-4 全域の土地利用と災害発生箇所

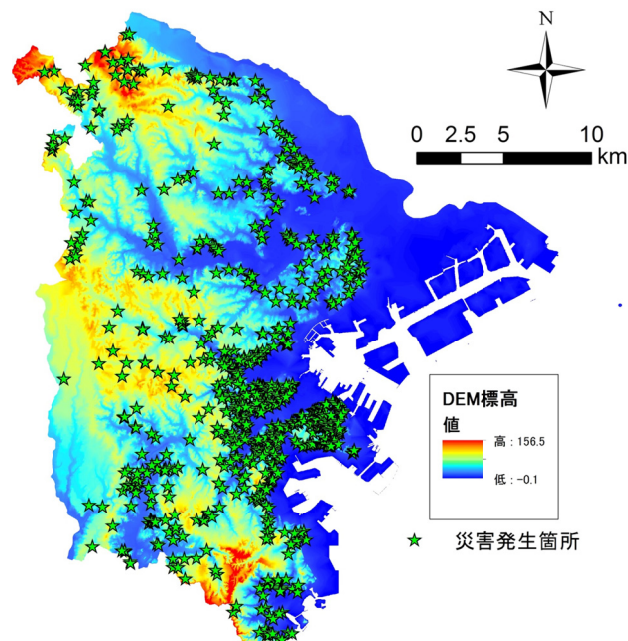


図-5 全域のDEM標高と災害発生箇所

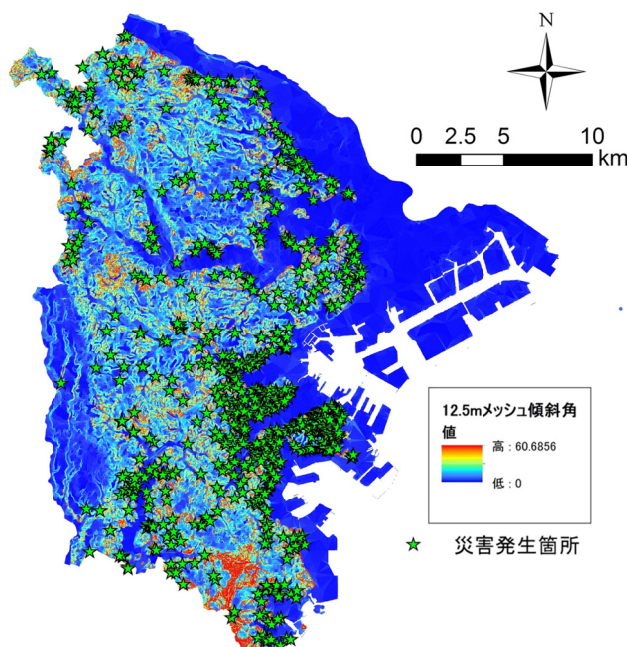


図-6 12.5m格子の傾斜角と災害発生地点

3. 結果

(1) 土地利用・標高・傾斜角と土砂災害の地図

GISにて各種地図に土砂災害発生地点を重ね合わせた結果として、土地利用(図-4)、標高(図-5)、傾斜角(図-6)を示す。地形は12.5 m格子で作製している。土地利用として(図-4)、1976年は市域の中西部や南部に森林・農地が多く見られるが、2006年には大半の場所が建物用地に変化している。標高と土砂災害発生地点の対応として(図-5)、多摩丘陵と河川・海岸沿いの低平地がすり付く付近に土砂災害が集中している様子が

分かり、谷の形状とも一致していることから、沖積低地と丘陵の境目のがけ地で土砂災害が発生しやすいことがうかがえる。傾斜角(図-6)も標高と同様の傾向であるが、丘陵の上は傾斜が緩く土砂災害の発生箇所が少ない。

(2) 土地利用の経年変化

傾斜角ごとに土地利用を分類し、経年変化を調べた(図-7)。1974年から2006年にかけて、いずれの傾斜角でも建物用地の面積率が増加していた。まず、領域全体では建物面積が41%から63%へと1.5倍増加し、農地と森林がいずれも半減した。傾斜角ごとに見ると、平坦地(0~5度)では、農地・森林・荒地・その他が29%か

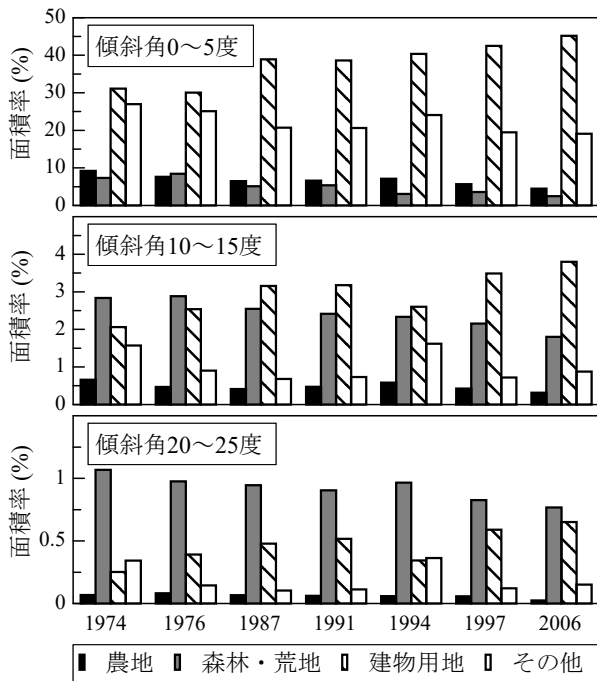


図-7 傾斜角と土地利用面積率の経年変化

ら19%まで減少し、建物用地が31%から45%に増えた。緩傾斜地（10～15度）では、農地・森林・荒地・その他が4.4%から2.8%まで減り、建物用地が2.1%から3.8%に増えた。減少面積が一番大きいのは森林であった。

急傾斜地（20～25度）では森林・荒地・その他が1.32%から0.89%まで減少し、建物用地が0.25%から0.65%に増加した。20度以上の急傾斜地は面積が約15 km²で、両市の面積の2.72%に過ぎないが、この斜面における建物面積は1974年から2006年にかけて2.6倍に増加しており、急斜面の開発が年々進行していることが明確になった。

土砂災害発生件数を傾斜角別に整理すると（図-8）、災害は傾斜角0～20度に集中しており、特に5～10度での件数が多い結果となった。また、すべての傾斜角において、建物用地における災害が最多であった。ただし、平坦地（0～5度）でも急傾斜地と同程度の災害件数があり、三隅ら⁹⁾も同様のことを指摘している。この結果は不自然であるため、次に格子スケールと地形再現性の関係や、災害箇所と傾斜角の対応関係について検討する。

4. デジタル地形と土砂災害の関係

(1) 都市圏に適した格子スケール

都市の土砂災害を適切に表現できる格子を検討するため、50 m 格子と 12.5 m 格子でそれぞれ計算された傾斜角と土砂災害地点の対応を調べた（図-9）。その結果、50 m 格子は 5～10 度の緩傾斜地で発生回数がピークにな

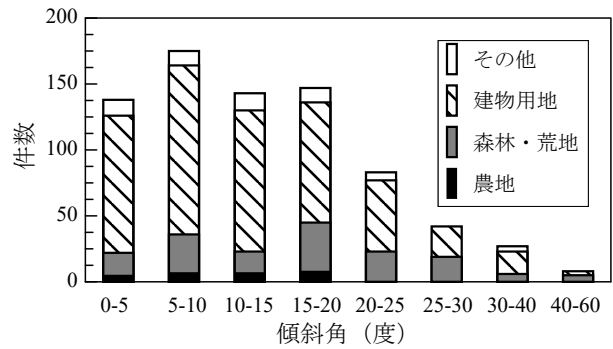


図-8 傾斜角と土砂災害発生件数

った。12.5 m 格子では同じ傾斜角の場所での発生回数が約半分に減り、10～40 度の斜面での発生にシフトした。

この原因を考えるため、横浜市磯子区磯子 7 丁目の拡大図に格子線を記入した（図-10）。図中の実線が 50 m 格子、点線が 12.5 m 格子である。12.5 m 格子は等高線の間隔や曲率と概ね対応しているが、50 m 格子は格子の中の地形が均一ではない。さらに、図-10 の中心格子の傾斜角は周囲 8 地点の標高座標から計算されるので、この場合は傾斜角が約 22 度になる。一方、当該セルの中では標高差が 20 m 以上あり、実際のがけ地の傾斜は約 44 度になる。この状況は、研究領域でよく見られ、特に沖積低地と丘陵が接するがけ地で顕著であった。

地形の空間均一性は日本全国で同じとは限らない。例えば火山台地の富士山麓などであれば、変化が緩やかなので 50 m 以上の格子でも実態に即した傾斜角を計算できると考えられるが、多摩丘陵については 50 m 格子ではがけ地の地形的特徴をカバーできず、傾斜角が 12.5 m 格子の約半分に評価されるため、12.5 m 格子が適切であることが分かった。

(2) 土砂災害と対応する傾斜角の選定方法

図-8 の傾斜角は 12.5 m 格子で算出しているため、平坦地で発生頻度が高い原因について別の角度から検討する。先に述べたように、国土交通省砂防部の資料⁸⁾を集計した結果、神奈川県土砂災害は 98% ががけ崩れであった。つまり、宅地の裏山が崩れていると考えられる。図-10 から分かるように 12.5 m 格子はおおよそ戸建て住宅一軒分を囲んでいる。面積にして 156.25 m²で、約 47 坪になるから、東京の郊外住宅の土地面積が 30～60 坪であることを考えると、概ね一区画と考えてよい。この場合、住宅区画そのものは平坦であるため、崩れた場所（急傾斜地）と被害を受けた場所（住宅）が隣接していれば、格子データとしては対応していない可能性がある。

そこで、災害発生地点の周辺格子を探索するために、災害地点を中心としたバッファ距離を設定した。そして、バッファ距離を半径とする円形ポリゴンを作成して、ポリゴンに含まれる格子の最大傾斜角を抽出して、災害地

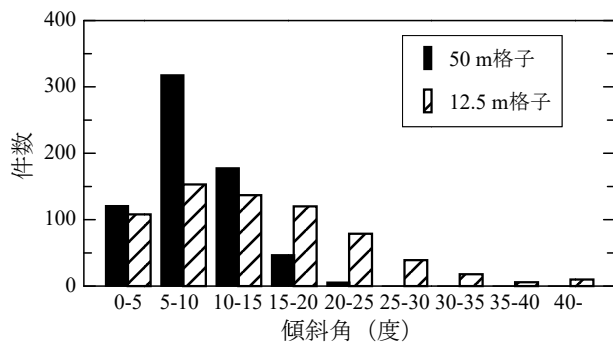


図-9 傾斜角と土砂災害発生件数（横浜市のみ）

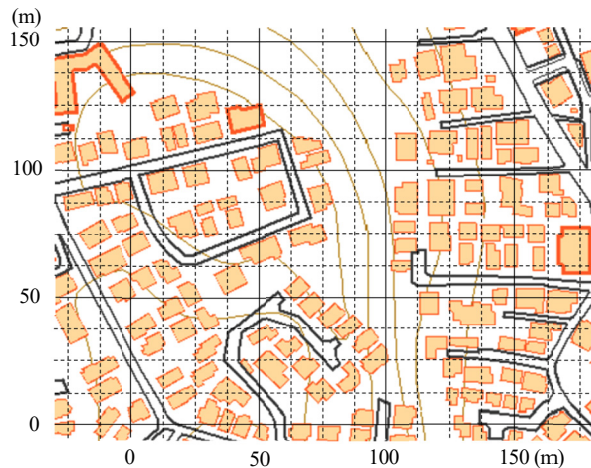


図-10 横浜市磯子区磯子7丁目付近の拡大図

点の傾斜角に置き換えた。格子サイズが 12.5 mであることを考慮して、バッファ距離として 12.5 m, 15 m, 17.5 m, 20 m, 25 m の 5 つを試行した。その結果、バッファ距離が大きくなるほど平坦地（0～5 度）の災害件数が減少し、20 m 以上になると変化がわずかになった。

例えばバッファ距離が 20 m のとき、この距離は 12.5 m 格子の対角距離の約 1.5 倍に相当し、隣接する 8 つの格子を探索している。土砂災害発生地点のうち格子傾斜角が 0～5 度の場所は 138 箇所であるが、バッファ距離を探索して隣接格子も同じ角度であった場所は 39 箇所ですべての約 3 割、隣接格子に 5～10 度の斜面がある場所は 53 箇所ですべての約 4 割、それ以上の斜面がある箇所が約 3 割であった。そして、災害発生地点の傾斜角を隣接格子の傾斜角で置き換えると図-11 が得られた。

バッファ距離を 20 m の設定すると、15～25 度で最も災害件数が多くなり、宅地裏のがけ崩れを適正に評価できた。川越ら⁷⁾は土砂災害が発生したグリッドの傾斜度よりも、セル周辺の起伏量の方が関係性を明示できるとしており、同様のことを示していると考えられる。ただし、隣接格子の傾斜角という本研究の概念の方が、より土地の実態を反映している。傾斜角が 15～25 度は標高差にして 3.5～6 m になり、住宅の一階天井から二階天井の高さと同程度のがけ地が隣接していることを表している。この状況は、丘陵上に宅地を造成する場合よりも、

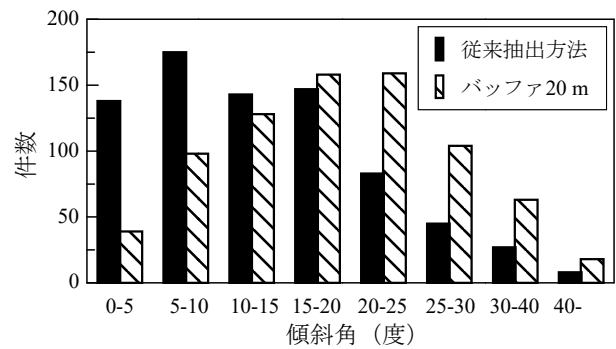


図-11 隣接格子を探索した場合の土砂災害発生件数

平地の宅地開発が徐々に山際に迫っていった場合に、勾配の急変点で発生すると考えられる。

5. 降雨の経年変化

1976 年から 2015 年までの横浜アメダス観測所における時間降雨データは（図-12）、一般に言われている 50 mm/h 以上の豪雨回数は、過去 40 年間に 8 回であり、経年的な増加傾向は認められなかった。そこで、しきい値を 15 mm/h と 30 mm/h に設定したところ、15 mm/h 以上の強雨回数が徐々に増加している傾向が見られた。

図-13 は横浜、府中、練馬の 3 地点のデータを 10 年平均したものである。15 mm/h 以上の降雨回数は 1980 年前後に 4～6 回/年から、2010 年前後には 8～10 回/年に増加しており、約 2 倍に増えたと言える。30 mm/h 以上の降雨回数は横浜では有意な増加傾向は見られないが、府中と練馬では 40 年間で約 3 倍に増加している。50 mm/h の降雨回数は府中でわずかに増加しているが、横浜と練馬では一定の傾向が見られない。

なお、三隅ら⁹⁾は半減期 1.5 時間の実効降雨と半減期 72 時間の実効降雨の組み合わせにより土砂災害の発生確率を評価する方法を提案しており、短時間降雨と数日間の総雨量の組み合わせが重要であると言える。

本研究では土砂災害の発生日時の情報を得ていないので、降雨と土砂災害を直接結びつけて解析することができなかったが、横浜市・川崎市では急傾斜地に宅地開発が進行しており、土砂災害の主要因が宅地裏のがけ崩れであることことを考え合わせると、強雨回数の増加は土砂災害のリスクを高める可能性がある。

6. 結論

本研究では県横浜市・川崎市を対象として、都市圏における斜面地形の特徴、土地利用の変化を調べ、また、都市圏特有の土砂災害（がけ崩れ）を抽出する手法を検

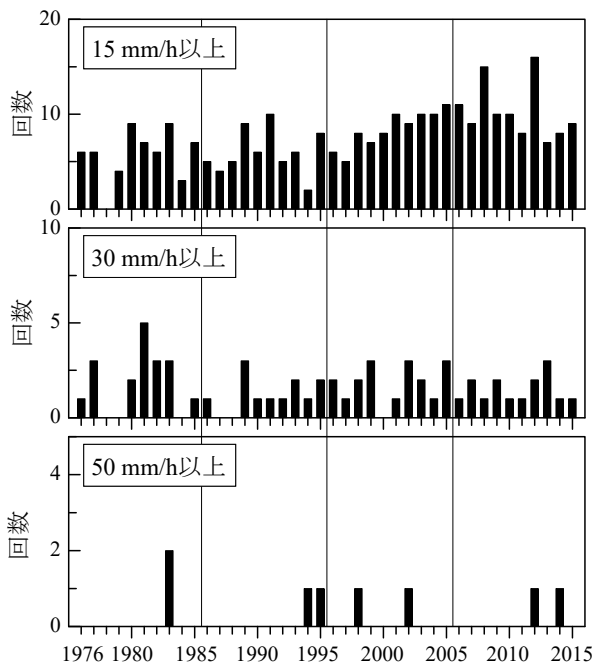


図-12 降雨強度のしきい値を超えた回数 (横浜)

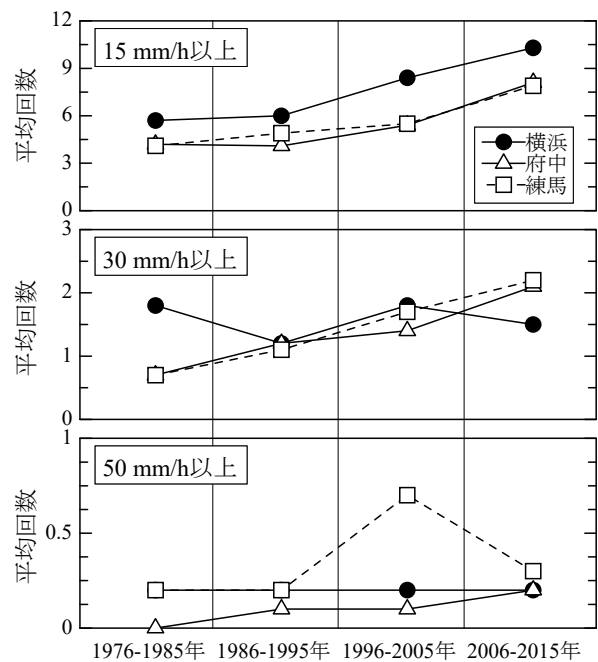


図-13 降雨しきい値を超えた回数の10年平均

討して、土砂災害の特徴を考察した。さらに、降雨の経年変化を整理した。得られた結論は以下の通りである。

- 1) 両市では1974年から2006年にかけて、建物用地の面積率が41%から63%へと1.5倍増加し、農地と森林がいずれも半減した。特に、20度以上の急傾斜地では建物面積率が2.6倍増加しており、低平地と丘陵が接する急傾斜地に都市開発が進行している様子が見られた。
- 2) 土砂災害と地形情報を対応づける方法として、50 m格子と12.5 m格子を比較したところ、12.5 m格子が丘陵の変化に富んだ地形を概ね表現できること、また戸建て住宅の一区画相当であることから、適切であると判断された。
- 3) 土砂災害が発生した当該格子の傾斜角を用いると、平地で災害が多発しているデータが生成された。そこで、当該セルの隣接格子の傾斜角を探索することで、宅地裏のがけ地を表現できることを明らかにした。
- 4) 両市では傾斜角が15～25度の斜面で最も土砂災害が多いことを示した。
- 5) 時間最大雨量の40年間の変化を調べ、15 mm/hの強雨回数が増加傾向にあることを示した。宅地開発が急傾斜地に迫っていること、急傾斜地に隣接した宅地で被害が出ていることを考え合わせると、土砂災害のポテンシャルは増大傾向にあると推測された。

謝辞：本研究を実施するにあたり、首都大学東京大学院（2015年度在籍）の亀井桂佑君には多大なるご助力を頂いた。また、作図は松永真弥君にご助力いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 気象庁：アメダスで見た短時間強雨発生回数の長期変化について、
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/heavyraintrend.html>（閲覧日 2015 年 12 月 30 日）
- 2) 国土交通省：平成 20 年度国土交通白書，第一節，図表 I-1-1-25「土砂災害発生件数の推移」，
<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h20/hakusho/h21/excel/k1101250.xls>（閲覧日 2016 年 4 月 4 日）
- 3) 川越清樹，江坂悠里：気候システムの温暖化による斜面崩壊と影響人口の関係に関する推計，土木学会論文集 G（環境），68(5)，I_287-I_296，2012。
- 4) 国土交通省砂防部：平成 26 年 8 月豪雨による広島県で発生した土砂災害への対応状況（平成 26 年 10 月 31 日時点）
http://www.mlit.go.jp/river/sabo/H26_hiroshima/141031_hiroshimadosekiryu.pdf
- 5) 牧野裕至，朝比奈志浩：急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律の目的から見た特色と土砂災害対策のソフト対策に果たした役割，砂防学会誌，68(4)，28-36，2015。
- 6) 三隅良平，真木雅之，岩波越：レーダ雨量に基づく土砂災害の発生評価—都市域を対象に，神奈川県の場合—，日本気象学会天気 58(8)，697-704，2011。
- 7) 川越清樹，江坂悠里，脇岡靖明：実効雨量と地域情報をを用いた東京都の土砂災害解析，土木学会論文集 B1（水工学），67(4)，I_955-I_960，2011。
- 8) 国土交通省砂防部：近年の近年の都道府県別土砂災害発生状況，
http://www.mlit.go.jp/river/sabo/taisaku_syojoho/dosyasyagai_hasseijokyo.pdf（閲覧日 2016 年 4 月 4 日）
- 9) 神奈川県土砂災害きろくマップ，
<http://www.pref.kanagawa.jp/osirase/sabo/bousai/kiroku/imgmap.html>（閲覧日 2015 年 12 月 30 日）