

# 揺れ易さマップの作成と地震災害リスクマネジメント

Preparing of Site Amplification Map and Risk Management for Earthquake Disaster

荏本 孝久

関東学院大学経済学会研究論集  
『経済系』第242集 2010年1月抜刷



# 揺れ易さマップの作成と地震災害リスクマネジメント

## Preparing of Site Amplification Map and Risk Management for Earthquake Disaster

荏本 孝久

Takahisa Enomoto

1. はじめに
2. サイスマック・マイクロゾーニング
3. 地盤区分と増幅率評価によるデジタルマップの作成
4. 揺れ易さマップの作成
5. ハザードマップの作成
6. まとめ

キーワード 地形・地質, 地盤震動特性, サイスマック・マイクロゾーニング, 地盤増幅率, デジタルマップ, 地震災害, リスクマネジメント

### 1. はじめに

我が国は自然災害の多発国である。歴史的にも古くから地震災害, 台風災害, 土砂災害, 火山災害を始めとして様々な地変, 気象現象に伴う自然災害が発生し, 多大な人的・物的損失が繰り返されている。近年の関東地方における大災害は 1923 年関東大震災であり, 関西地方のそれは 1995 年阪神・淡路大震災であるといわれる。いずれの地震災害においても地盤と地震災害には強い相関関係が指摘されている。最近では, 地球規模あるいは太陽系規模で災害の誘因となる自然現象の解明に至るアプローチが進められている。しかしながら, なかなか目に見えて自然災害が減少するという傾向は認められていない。むしろ, 都市化, 情報化, 人口集中, 高齢化など社会的な構造の変化に伴って, 自然災害の様相も変化してきていると考えられている。例えば, 地震災害に限って考えてみても, 災害は地形・地質や地盤などの地域の自然環境や人口・産業構造・施設など社会環境の両者を含めた「地域特性」と自然現象の時間的・空間的な変化として「地震規模」との相互の関わり合いにより地震災害の規模が変化すると考えられている。したがって, 地震災害を現象させるためには

「地震現象」の解明と同時に「地域特性」の詳細な分析が必要不可欠である。現在, このような考え方は自治体を中心となって実施される地震災害に関する「被害想定調査」と「地域危険度調査」に用いられ, それぞれ地震災害対策に反映されている。因みに前者は地震発生後の応急・復旧対策に, 後者は地震発生前の予防対策に活用されるケースが多い。1970 年頃より東京都が中心となって先導的に調査が進められてきた。

地域の地震防災を考える上で, 基本的に重要な情報は, 将来その発生が予想される地震の想定と, その地震による被害規模の予測である。すなわち, 被害想定調査である。現在多くの自治体において被害想定調査が行われ, 1995 年阪神・淡路大震災以降, この種の調査が増加し細密化する傾向にある。これまでに実施されてきた被害想定調査の流れをまとめると図 1 に示すようになる。図中には, 被害想定調査の流れの中で, 地域危険度調査あるいはサイスマック・マイクロゾーニング (Seismic Micro-zoning) と言われる, 比較的広い意味での地震被害の危険度評価手法の位置づけも示してある。図に示したように地域危険度調査は, レベル A で示される地形・地質や地盤構造などの地域の自然的要因から, 主に対象地域の地盤の震



サイスミックマイクロゾーニングの手法と利用

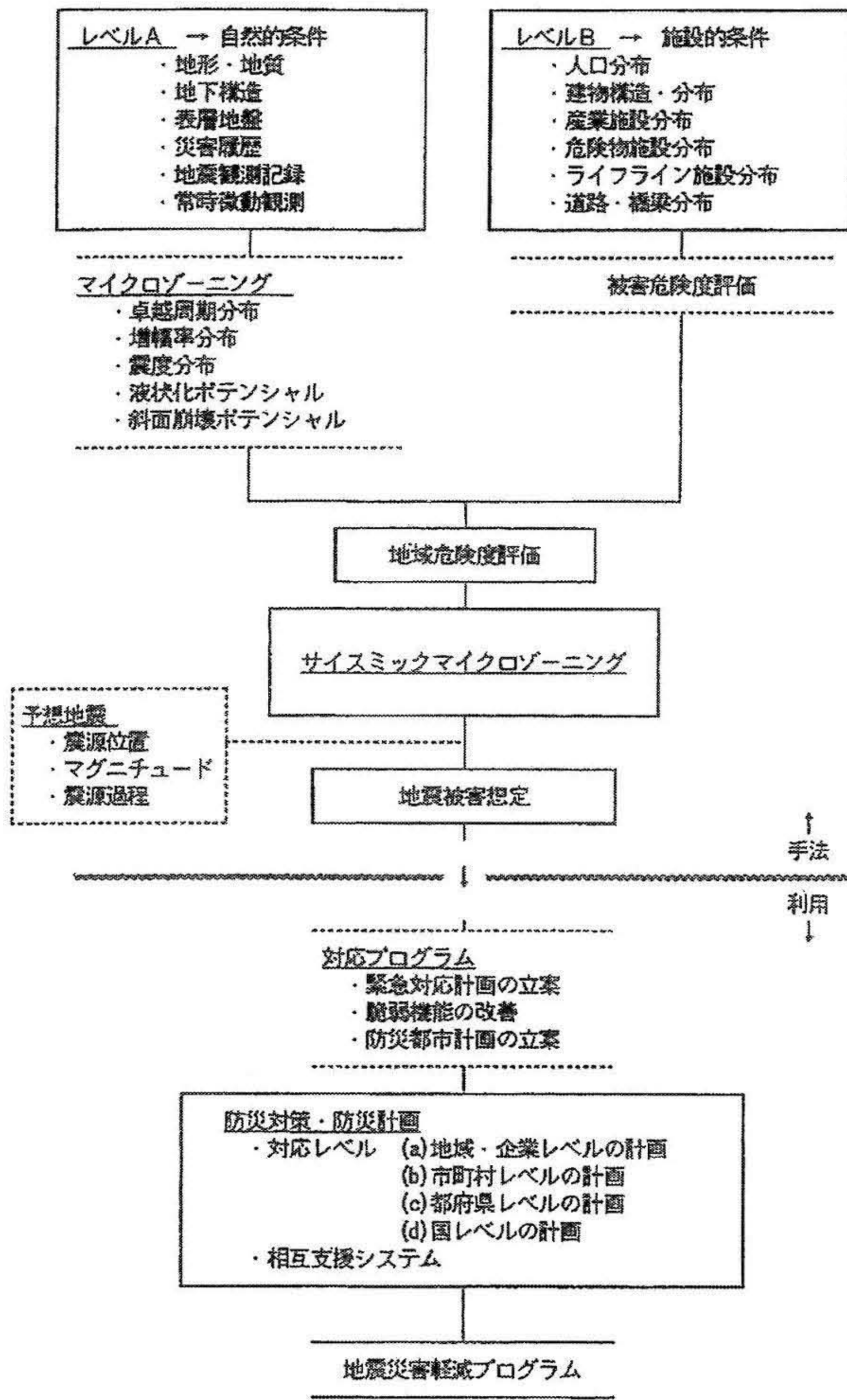


図1 サイスミック・マイクロゾーニングの考え方

動特性によって決まるマイクロゾーニングが可能であり、同様にレベルBで示される社会的要因によって決まる諸施設の耐震性能と分布状況、分布密度などに基づいて対象施設の相対的な被災危険度の評価との重ね合わせにより検討することができる。すなわち、この両者のデータにより地域危険度の評価が可能となる。さらに、被害想定調査では想定地震を設定し、入力地震動の特性を評価した上で構造物の被害関数を導入して被害分布と被害量を算定することになる。現在、このような方法で算定された被害想定調査項目毎の被害分布と被害量から、地域防災計画が策定され、地震災害軽減のための各種の活動や組織づくりが行われている。

地震災害も含めてより広義の自然災害に対する

地域の被災危険度（ポテンシャル）に関する何等かの危険度評価は、水害や土砂崩れの発生箇所あるいは死者の多発地区などにより、かなり古い時代からの記録や言伝えなどの形で特定化されてきた。しかし、大地震の地震災害に関する特定地域内における被災危険度の評価は、地震の再来期間が長いこともあって、人工的な改変による市街地の変遷や、諸施設の集積などによる急激な変化を伴う場合には、なかなか的確には特定しにくい。先駆的な地震災害の危険度調査には、1968年に実施された横浜市の「危険エネルギー」調査がある。被害想定調査によって、被害の定量化を実施しようとする試みが始まる以前に実施された大変卓抜した調査であった。

現在、有用な地域危険度評価は、災害に対する地域の危険度ポテンシャルを数値的な値に変換し、相対的な評価を行って危険地域の割り出しを行い、その地域を特定化することによって、地域的な地震防災対策として予防対策の方針を決めていくことを主な目的としている。したがって、特に地震災害の地域危険度の評価を考えた場合には、地域特性の抽出と地域特性を評価する地域の最小単位に大きく依存することになる。すなわち、この場合には「自然環境」として主に地盤特性から期待される地震動の強さの分布（地盤の性質による地域特性）と「社会環境」として建物等の諸施設の分布状態（分布密度による地域特性）から検討される場合が多く、地域の最小単位としては町丁単位あるいは適当なメッシュ単位を選択することになる。また、必然的に地域危険度調査の結果は相対的に評価されるだけで、被害想定調査のように被害総量を量的に算定することはできない。

いずれにしても、地震災害危険度評価は人口集中の著しい大都市域を対象とした地震防災として、その重要性は増してきている。その際に地盤と地震災害の関連性を十分に考慮した検討が重要であると言える。

本論では、現在進めている研究プロジェクトの目的と概要について説明するとともに、神奈川県を対象として実施した効率的かつ詳細なデジタル地盤区分図と地盤増幅率図の作成方法と作成結果に



ついて述べる。また、これらのデジタルマップを利用した“揺れ易さマップ”と“ハザードマップ”の作成を紹介し、これらの地震災害の危険度の評価結果を用いた地震災害リスクマネジメントについて触れてみたいと思う。

## 2. サイスミック・マイクロゾーニング

上述したサイスミック・マイクロゾーニングについての考え方は、1970年代頃から主に国際サイスミックゾーニング会議（ICSZ：International Conference on Seismic Zonation）や世界地震工学会議（WCEE：World Conference on Earthquake Engineering）などの国際会議をとおして、世界各国の事情を反映した形で検討がなされてきた経緯がある。したがって、国や地域など対象地域の大きさ、内容、手法やレベルは異なるものがあるが、それらの最終的な目的や考え方は地震災害の軽減に寄与することで大局的には類似している。すなわち、大地震の発生による構造物の一次被害は、地震の性質、震源から被害地域までの地質構造、被害地域の地盤の性質、被害主体である構造物の条件などの関数で表現でき、これらの要素を結びつけているのが地盤特性に関連した地震動というパラメータであると考えている。

したがって、サイスミック・マイクロゾーニングを実施する手順は以下のようなになる。

- ①震源位置と発震機構の検討
- ↓
- ②地震動伝播経路の地質構造の検討
- ↓
- ③マイクロゾーニングを行う地域の地盤の検討
- ↓
- ④地盤特性による地域区分についての地震工学的評価
- ↓
- ⑤地域区分された地域に分布する構造物の被害予測

理論的には、以上のような作業手順になるが、特定の地震を想定すると震源の特性が比較的強く反映された形のサイスミック・マイクロゾーニング

になる場合があり、前述の被害想定調査と同様になる。このような特定の地震の影響を排除したサイスミック・マイクロゾーニングを実施する場合には、比較的遠くの大地震を想定してサイスミック・マイクロゾーニングの検討を実施するケースが多い。そのような想定地震としては、どれにも共通に使用できる地震特性をもつ地震を考えなければならない。そのため、一般に考えられる方法は地盤特性についてのみ評価する方法で、地盤危険度という表現を使用している。取り上げられる項目は、地盤の震動特性、液状化現象の可能性、それに斜面崩壊の可能性などである。すなわち、地盤危険度のみから基本的なサイスミック・マイクロゾーニングを行おうとする一つの考え方である。

最近では、1991年、1995年、2000年に第4回、第5回および第6回の国際サイスミック・ゾネーション会議が米国カリフォルニア州スタンフォード、フランスのニースと米国カリフォルニア州パームスプリングスで開催された。また、1984年から2008年にも4年毎に世界地震工学会議が米国、日本、スペイン、メキシコ、ニュージーランド、カナダおよび中国で開催され、年々サイスミック・マイクロゾーニングに関する研究や事例の報告が増加しており、その重要性が世界的にも益々高まりつつある。特に、1995年第5回国際サイスミック・ゾネーション会議では、行政機関が地震災害防止や軽減を目的とした防災対策を実施する上での基本的な情報として、またツールとしてサイスミック・マイクロゾーニングの重要性を指摘する声が大変高くなり、それ以降各国の調査・研究活動が活発化した。また、20世紀最後の10年間に後進国の自然災害を軽減する目的で、国際連合が提唱した「国際防災の10年（IDNDR：International Decade for Natural Disaster Reduction）」が1990年から始まった。1992年にIDNDRに関する国際会議が横浜市で開催され、世界各国から政府代表団が参加し、自然災害の防止と軽減に関する各国の取り組みと防災対策の技術や方法に関する討議が行われた。この席上に置いてもマイクロゾーニングの重要性が強調された。これらのことから、サイスミック・マイクロゾーニングの取り組みは、世界



的な趨勢であることは間違いのない事実であり、その背景には情報・通信技術の進歩により、地震災害を含む自然災害に関する情報が世界的規模で共有されるようになったこと、飛行機を用いた航空測量や人工衛星を利用したリモートセンシング技術が普及し、地図作成や画像処理に関する技術が飛躍的に進歩し防災技術に利用することが可能となったこと、コンピュータ技術の進歩により、データベース・システム (DBS) や地理情報システム (GIS) など膨大なデータの蓄積とデジタル地図による可視化表示などを可能とし、防災システムに重要なハードウェアとソフトウェアが発達したことなどが考えられる。しかしながら、冒頭にも述べたように、サイスミック・マイクロゾーニングの作成目的、技術や方法などは、まだ十分に統一されたものとはなっていないこともあり、地震防災対策のツールとして、その重要性は認識されつつあるものの、依然として国や地域によって定義、内容や質のレベルは相違していると言える。

一方、サイスミック・マイクロゾーニングには地盤と地震動特性が大きく関与しているため、地震時の地盤応答すなわち地盤震動特性の評価が不可欠であり、この種の研究が進展した。特に1995年阪神・淡路大震災の被災経験を教訓として起震断層の震源特性、地震波動の伝播特性および地盤構造の増幅特性などを総合的に考慮した強震動特性の評価方法が普及してきている。この種の研究として、ESG (Effects of Surface Geology on Seismic Motion) 研究が活発化し、1987年に活動を開始したIASPEI (International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior)/IAEE (International Association for Earthquake Engineering) 共同WGにより主催されるESG国際会議が数年間隔で開催されている。1992年に日本、1999年に米国そして2006年にフランスで開催され、強震地震動に与える表層地質の影響に関する共通認識が高まってきており、地盤と地震動特性を考慮したサイスミック・マイクロゾーニングに大きく貢献している。

前述のように、我が国では被害想定調査は地震発生後の応急・復旧対策に有効であることと、地

域防災計画の基礎データをなすものとして基本的に重要であり、1995年阪神・淡路大震災以降その必要性が高まり、調査を実施した自治体が増加したが、これらの調査の中で想定される地震に対しての調査結果となるものの、地盤危険度や建物被害に関する評価についても一応検討されることになる。したがって、サイスミック・マイクロゾーニングは、地震被害想定調査とかなり重複して検討し得る形態となっている。

### 3. 地盤区分と増幅率評価によるデジタルマップの作成

近年、日本列島は地震活動期に入ったとの認識が高まっている。同時に、新たなきめ細かい防災対策の検討が急務となっている。自然災害に関する防災技術は、個別の災害に対する要素技術として進展してきている。しかしながら、これらの要素技術は主に個別の災害に対するハードな対応技術であり、災害の予測精度や対策費用との関係で、事前に十分有効な対応が取られているとは必ずしも言いがたい。地震災害を対象とした防災対策では、1995年阪神・淡路大震災を契機として、ハードな対策やソフトな対策を含めて広い視野で進展してきている。しかもハード・ソフトの防災対策のバランスは重要であり、これを実現するには両者に共通する認識として災害リスクを精度良く認識し、災害危険度を評価するための詳細な地盤特性評価、すなわち地盤区分図と地盤増幅率図の作成とそれに基づく地域危険度調査や被害想定調査が必要となる。

本節では、現在進めている研究プロジェクトの目的と概要について説明するとともに、神奈川県を対象として実施した効率的かつ詳細なデジタル地盤区分図と地盤増幅率図の作成方法と作成結果について述べる。

前述のごとく我が国では、地震・台風災害を始めとして自然災害が多発する。自然災害は多岐に亘り、災害の起因である自然現象と災害の誘因となる地域特性の組み合わせで決まる。近年の都市



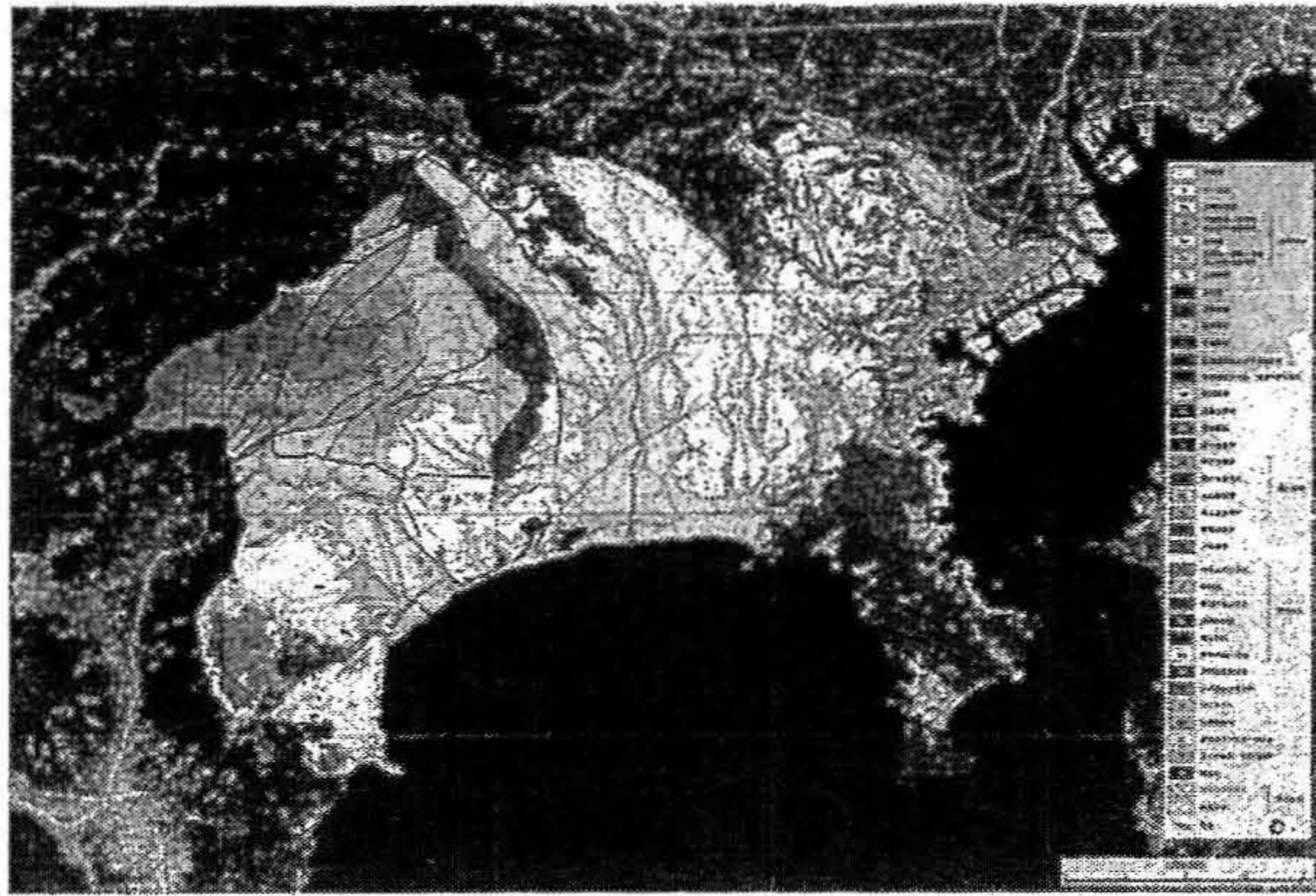


図 2 神奈川県地質図

防災を考える場合、ハードな観点からの災害評価の問題とソフトな観点からの社会システムの現況評価の問題に関するバランスの配分によってリスクを評価して、効率的に地域の防災性を高めて災害軽減化を図る必要があると考えられる。そのためには、ハードとソフトな対応を考慮したリスク評価による適切なマネジメントが重要となる。研究プロジェクトの目的は、地震災害を対象としてこれらを統合化する技術を開発することを目指すもので、災害軽減化のためのリスク評価による有効なリスクマネジメント手法の構築と実践化技術の開発を実施することを目的としている。この一環として、神奈川県を対象として県内の市区町村レベルにおいても対応可能な地盤区分図と地盤増幅率図を作成した。

地震災害に対する地域危険度調査や被害想定調査を行う際に地盤特性を把握する必要があり、予め地盤図の作成が重要となる。このような地盤図の作成に当たっては、国総研（元国土地理院）発行の地質・地形図等を基本として都道府県において地盤図が作成されている。図 2 は神奈川県を対象とした地質図である。県の全体的な地質構成は理解できるが、市町村における詳細な地盤特性の把握は難しい。現在、独立行政法人・防災科学技術研究所が中心となって進めている表層地盤区分のデジタル化は 500 m あるいは 250 m メッシュサイズで地盤区分を行い地盤特性を表示している。図 3(a), (b) は神奈川県平塚市を対象とした 250 m メッシュと

50 m メッシュで表示した地盤区分図の例である。前者では、広域的な地盤区分図としての有用性は認められるが、市町村レベルでの詳細な地盤区分図としては不十分で、50 m メッシュ程度を用いた地盤図作成が必要となることがわかる。また、地盤区分図は地質・地形図を基礎とするため、平面的な地盤情報となっており、地盤震動特性で重要な深さ方向の情報や動的特性に関する情報は含まれていない。そのため、ボーリングデータの蓄積や強震観測や常時微動観測結果の蓄積により、合わせて地盤振動特性の評価を加味した詳細な地盤区分図の作成が必要である。このため本プロジェクトでは、デジタル地盤区分図の作成と同時に神奈川県を対象として、ボーリングデータのデータベース化を進めている。ボーリング地点の場所を GIS を用いてデジタル地図上に表示し、地盤情報に関する様々な属性データを持たせることにより、地盤情報のデータベースを整理することにした。さらに、図 2 の中に示されている神奈川県東部・中央部および西部に広がる平低地部や東部の川崎・横浜市を対象にして実施した常時微動観測結果についてもデータベース化を進めている。これらの地盤関連情報のデータベースを利用して、デジタル地盤区分図とリンクして、地盤の卓越周期や増幅率など地盤震動特性の評価も行っている。

本プロジェクトで作成した地図は、神奈川県全域の地形分類図と表層地質図の 2 種類である。両地図とも、建設省（現国土交通省）国土地理院から発行されたもので、縮尺は 1/50,000 である。地図は紙地図を電子データ化した TIFF データを使用した。神奈川県全域の地形図および地質図は、全部で 7 枚に分けられており、それぞれ「横須賀・三崎」、「八王子」、「横浜・東京西南部・東京東南部・木更津」、「上野原・五日市」、「小田原・熱海・御殿場」、「秦野・山中湖」、「藤沢・平塚」に区分される。地図のデジタル化に伴う各作業は以上の 7 枚の地図別に行い、最終的に 1 枚の地図（1 つのデータ）としてまとめた。

図 4 に地形分類 7 枚による神奈川県全体図を示し、その図郭と縮尺 1/50,000 に相当する標準地域メッシュ図郭とを比較した。



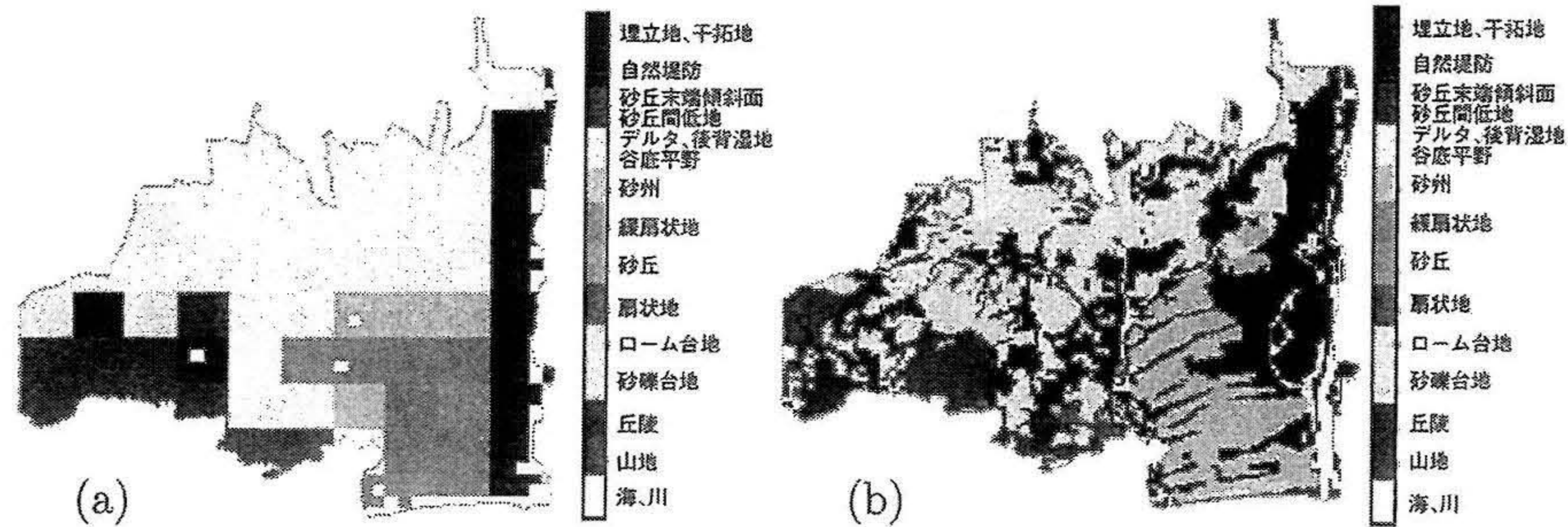
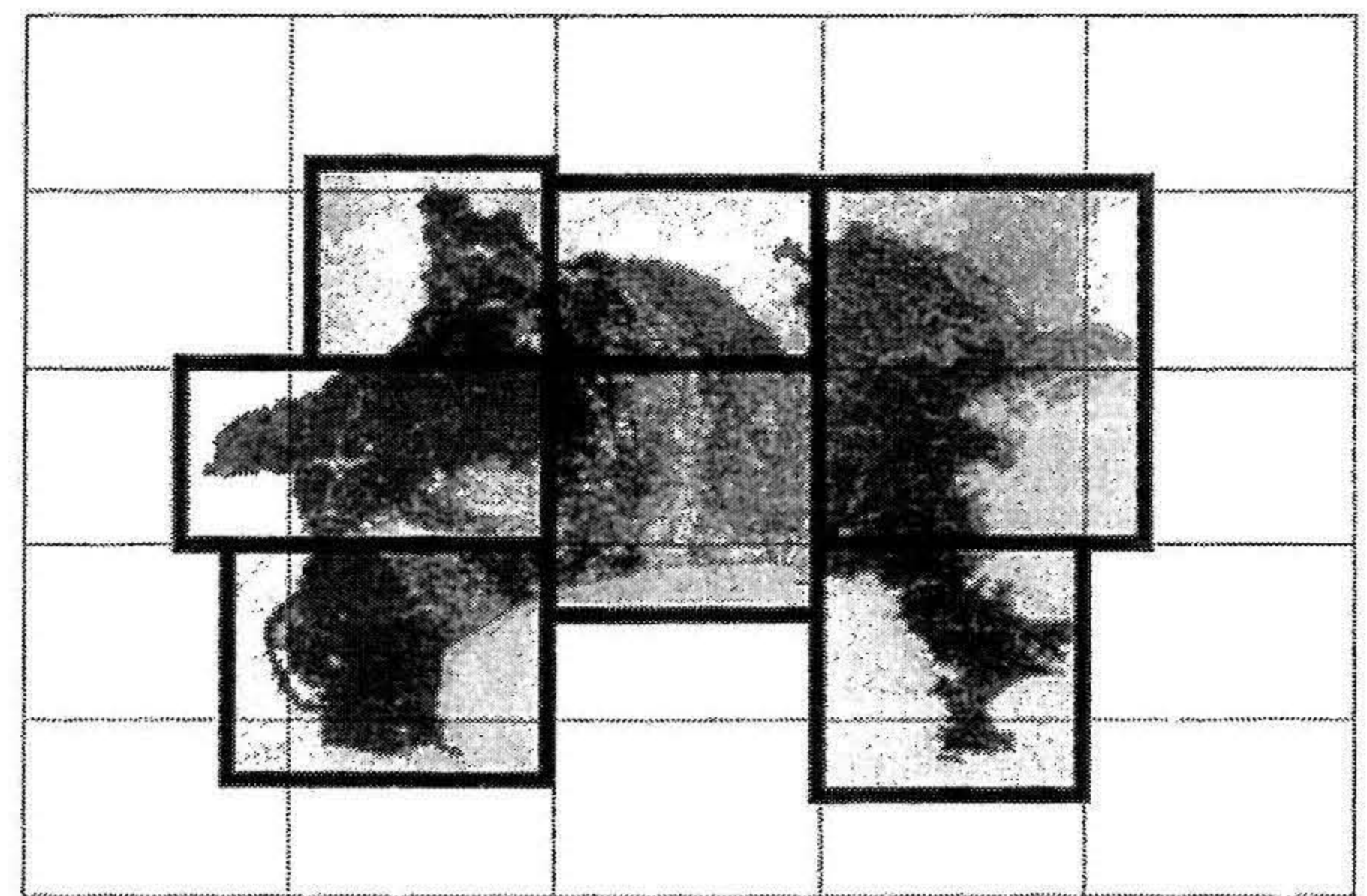


図 3 平塚市の地盤区分図

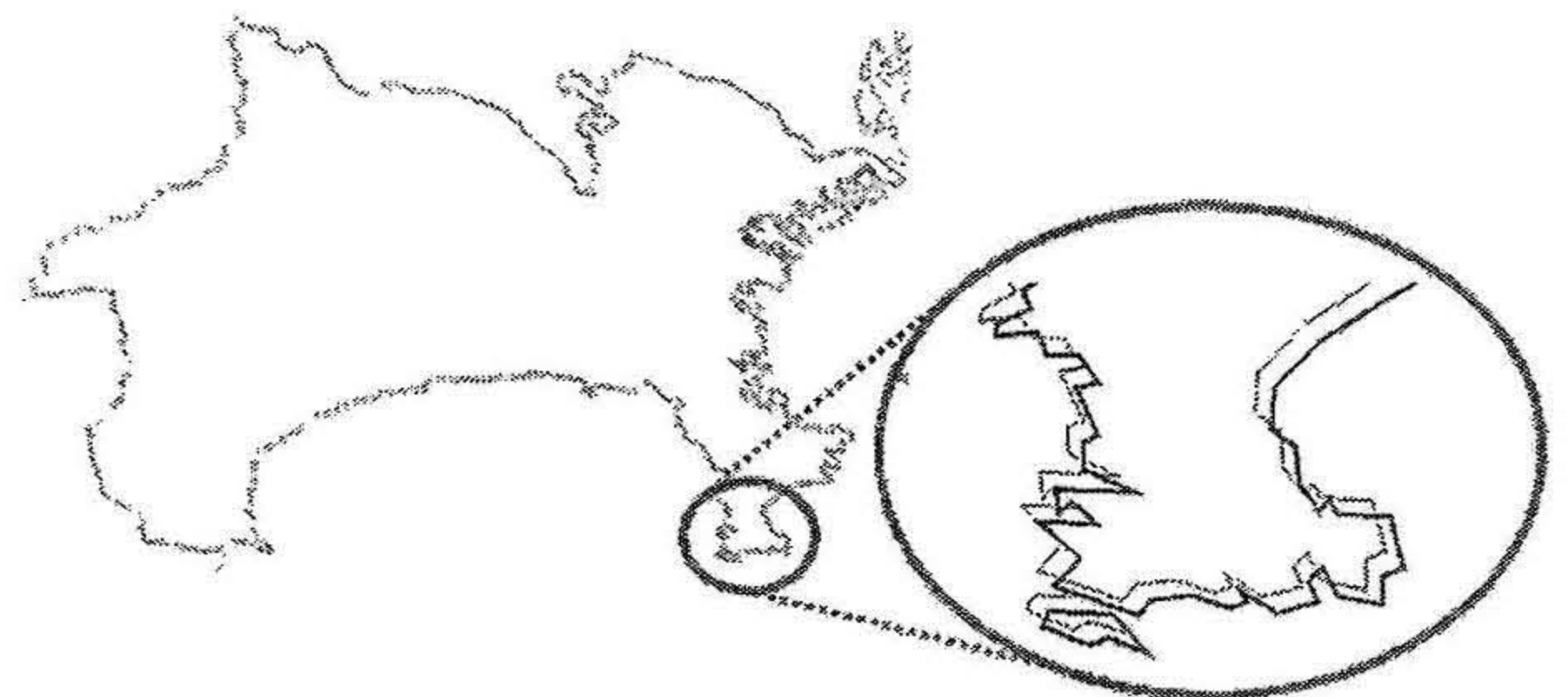
使用した紙地図は、その図郭範囲が標準地域メッシュ (昭和 48 年 7 月 12 日行政管理庁告示第 143 号「統計に用いる標準地域メッシュ及び標準地域メッシュコード」) の縮尺 1/50,000 相当のメッシュに一致していないこと、また、通常は地図の図郭の 4 隅に記されている座標値も不鮮明であり、はっきりと判別できないため、地形分類図および表層地質図をデジタル化する際には、地図作成時の説明が記されている図郭範囲座標を位置情報として設定した。また、地形・地質図上には、標準地域メッシュの図郭を表す線が引いてあるため、必要に応じてその座標を位置情報として設定した。

地図のデジタル化に当たっては、ArcGIS Desktop (ESRI ジャパン (株) 製) を使用した。ArcGIS Desktop は地理情報を効率的に取得、保存、更新、加工、表示、管理することができるだけでなく、空間検索や解析ができる。また、高度な空間データ処理機能も持っており、各種オーバーレイ処理、近隣処理、単純化処理、図郭接合処理、座標系変換処理などが含まれる。作成した ArcGIS の主なデータ形式はシェープファイルであり、ライン (線) データ、ポリゴン (面) データ、ポイント (点) データの 3 種類がある。その他、紙地図をスキャナ等で読み込んだ。地形・地質図のラスター (画像) データも使用している。シェープファイルの各データには属性データもあり、各ポリゴン、ラインおよびポイントデータに情報を持たせることができる。本プロジェクトでは、作成した各ポリゴンデータの属性データに地形・地質の物性データを入力した。また、属性データは、dbf ファイルとして保存されており、Microsoft Excel の DBF4 (dBASE



細線：標準地域メッシュ (縮尺 1/50,000 に相当)、太線：今回使用した地図 (地形分類図)

図 4 神奈川県全体図および図郭の比較



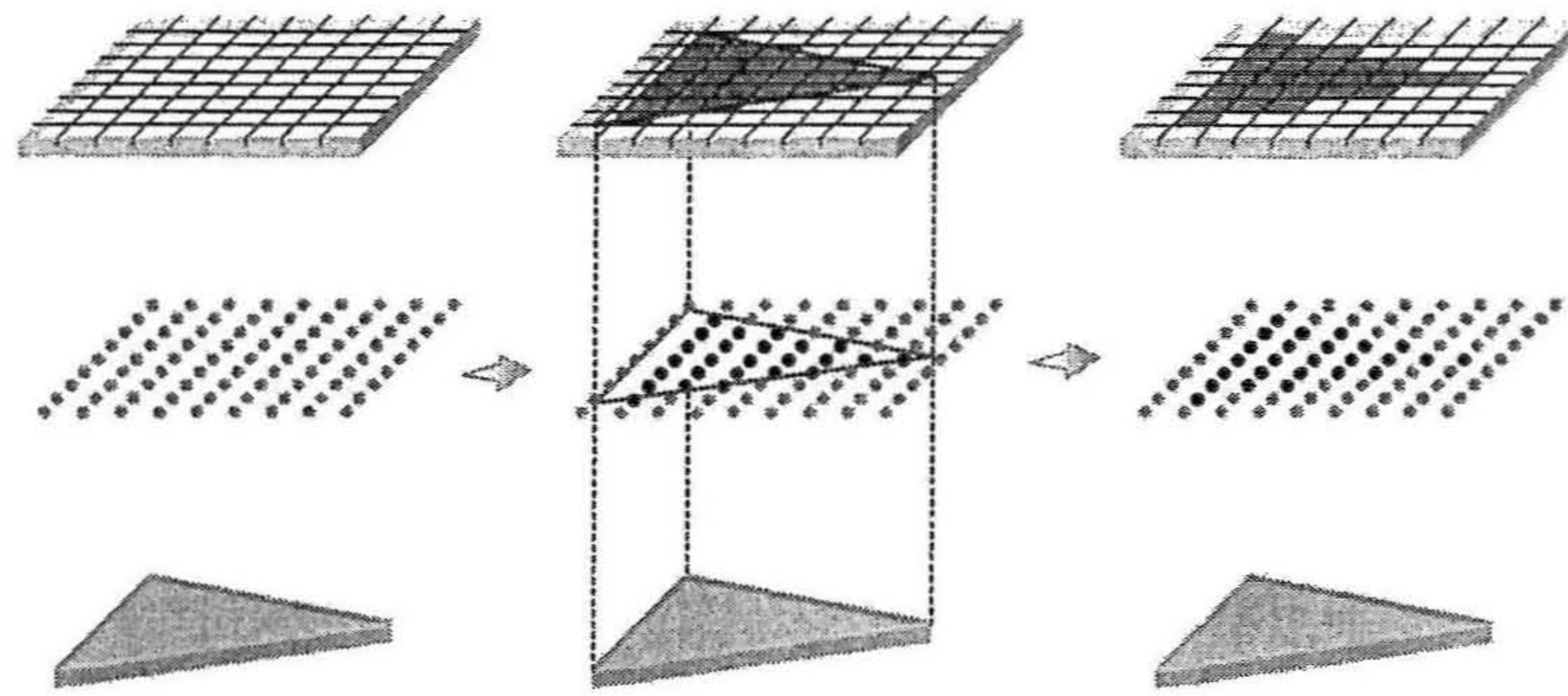
細線：世界測地系、太線：旧日本測地系

図 5 測地系の差異

IV) ファイルとも対応していることから、属性データの編集などに Excel も活用している。

測地基準系は地球上の位置を表すための基準であり、測地基準系、日本測地系、WGS84、測地成果 2000 など様々な測地系があるが、異なる測地系で作成されたデータを ArcGIS 上で重ねて表示すると、図 5 のように位置がずれ、最大で約 500 m 程度の誤差が生じることもある。したがって、基準となる測地系を設定することが重要である。図 5





上段：50m メッシュポリゴンデータ，中段：50m メッシュ中心点データ，下段：反映させるデータを持つポリゴンデータ

図 6 物性データの反映過程

に、世界測地系と旧日本測地系との差異を示す。

本プロジェクトでは、使用した地形分類図および表層地質図が旧日本測地系で作成されていることから、旧日本測地系を採用した。なお、測地系は ArcGIS ソフトにより、測地成果 2000（世界測地系）へ変換することができる。また、ArcGIS ソフトは地図の目的に応じて多様な投影座標系にも対応している。本研究で使用している地図は一般的によく利用されているユニバーサル横メルカトル（UTM）図法で作成されている。

地図のデジタル化に際しては、50m メッシュを使用した。従来、地震の被害想定や表層地盤の増幅率などの解析には 250m メッシュや 500m メッシュが広く使われており、50m メッシュなどの細かいメッシュでの解析を行った例は少ない。また、メッシュの物性データは、紙地図上のメッシュを人の目で 1 つずつ判断するという手法が一般的であったため、判別に大変時間がかかり、人の目による判別ミスの可能性も高かった。

本プロジェクトでは、効率性や利便性および汎用性の観点から 50m メッシュポリゴンデータを用いて、ArcGIS により地形・地質ポリゴンの物性データを機械的に反映した。これによりどの様な大きさのメッシュにも対応でき、物性データの入力ミスも少なくなる。また、地形・地質の物性データを 50m メッシュへ反映させる過程では、50m メッシュの中心点となるポイントデータを使用した。最初に地形・地質ポリゴンデータと重なる中心点ポイントに物性を反映させ、その後 50m メッ

シュのポリゴンに中心点の物性を反映させるためである。図 6 に物性データの反映の過程を示す。

ArcGIS Desktop では、各 50m メッシュ中の地形・地質ポリゴンの面積比によって反映させる物性を選定することもできるが、作業過程が増えてしまうことや、面積比による選定と中心点による選定法では選定結果に差がほとんどないと考えられることから、本プロジェクトでは中心点による選定法を採用した。

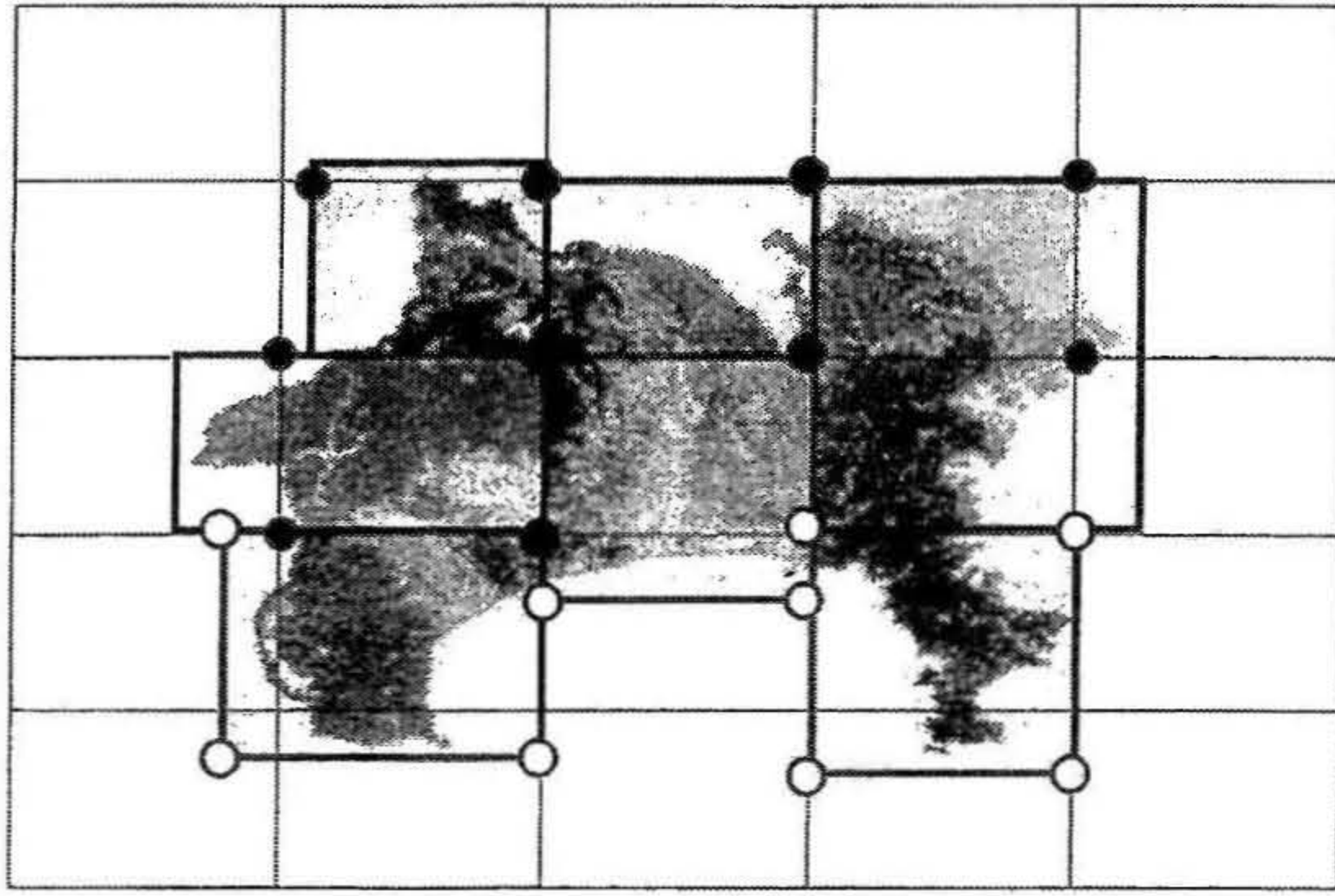
以下に地形・地質図をデジタル化するまでの流れを示す。なお、①～⑤までは地形・地質図ともに各 7 枚ずつの作業を行う。

- ①地形・地質図の TIFF データのうち、地図以外の凡例や文字、余白部分を削除する
- ②ArcGIS で読み込んだ TIFF データに位置情報（緯度・経度情報など）を与える
- ③全 7 枚の各 TIFF データ上の地形・地質の境界線に沿ってラインデータを作成する
- ④ラインデータをポリゴン化する
- ⑤作成したポリゴンデータに地形・地質の物性データを入力する
- ⑥7 枚の地図を 1 枚（1 つのデータ）に統合する
- ⑦地形・地質ポリゴンから 50m メッシュの中心点のポイントデータに物性データを反映させる

以上のような手順によるデジタル化に対し、いくつかの手法を以下に示す。

上記②の作業において、TIFF データを ArcGIS 上の位置（緯度経度）に反映させるために、最初に





細線：標準地域メッシュ，太線：使用した地形・地質図枠，●：標準地域メッシュの図枠頂点，○：地形・地質図枠頂点

図 7 基準座標点

紙地図上の座標が明記されている点を探す。次にその座標を持つポイントデータを基準座標点として GIS 上にプロットし，ArcGIS のジオリファレンスのコマンドを使用する。ジオリファレンスとは，紙地図上の座標点と GIS 上の同じ座標を持つポイントとをリンクさせて画像データ等に位置情報を反映させるためのコマンドであるが，点と点を確実に一致させる機能が付いていない欠点がある。したがって，GIS 上で 7 枚ある神奈川県全域の地図が，正確に並べられているかは人の目の判断によるため，なるべく誤差が少なくなるように何度も繰り返す必要がある。図 7 にジオリファレンスに使用した基準座標点，図 8 にジオリファレンスの概要図を示す。

図 7 のように，本プロジェクトで使用した地形・地質図の作図範囲は縮尺 1/50,000 相当の標準地域メッシュの図枠とは一致しないが，各地図上には標準地域メッシュの図枠を表す線が示してある。したがって，ジオリファレンスに使用する基準座標点は地形・地質図枠の頂点座標を使用し，図枠の座標が不明確な点については標準地域メッシュの頂点を使用して，図 8 のようにジオリファレンスを行い，GIS 上で TIFF データに位置情報を与えた。

また上記③において，紙地図上のすべての地形・地質のポリゴンを作成する場合は，ArcGIS の作業効率から，最初に各地形・地質ポリゴンの境界線

をすべてラインデータで作成し，そのラインで閉塞された空間をポリゴン化する手順で地形・地質ポリゴンを作成した。作成するラインが必ず閉塞している必要があるため，線の端点については，必ず一致か交差をさせた。また，複数の線が交差し合う場所では，微小な閉塞空間が生じて，微小なポリゴンができないように，交差の方法にも十分に留意した。図 9 を例に 4 つのポリゴンを作成する際の，ラインの引き方の良い例と悪い例を示す。

上記⑤において，作成されたポリゴンデータの属性データには，各ポリゴンに対応する地形・地質の物性データを入力した。また，物性の入力方法については，まず GIS 上で TIFF データを下に，ポリゴンデータを上に重ねて表示して，TIFF データ上の各地形・地質の色や名称から各地図の凡例より物性を判別して入力した。なお，7 枚の地形分類図の物性はすべて統一したコードを使用した，7 枚の表層地質図の物性は凡例が統一されていないため，各地図で物性コードを入力した後，地質図共通の凡例一覧表を作成し地図ごとの物性コードをリンクさせた。

上記⑥において，①～⑤までに作成した各 7 枚の地形・地質図のデータは，検索や解析がし易く，また，データ管理を簡易にするため，ArcGIS 機能のユニオンというコマンドで 1 つのデータに統合した。図 10 にユニオンの概要図を示す。

上記⑦では，地形・地質ポリゴンの物性データは，50m メッシュの中心点のポイントデータに反映させた。また，地図と地図の境界部分など，ポリゴンがわずかに離れているところでは中心点のポイントデータをポリゴン上に重ねた際に，物性が反映されないポイントが生じることもある。その場合は，ポイントに最も近いポリゴンの境界をずらして，ポイントがポリゴンに重なるようにして再度物性を反映させた。図 11 にポリゴン境界をずらす図例を示す。

#### 4. 揺れ易さマップの作成

地域防災力の向上には，住民が地域の地震災害に対する危険性を正しく理解・認識することが必



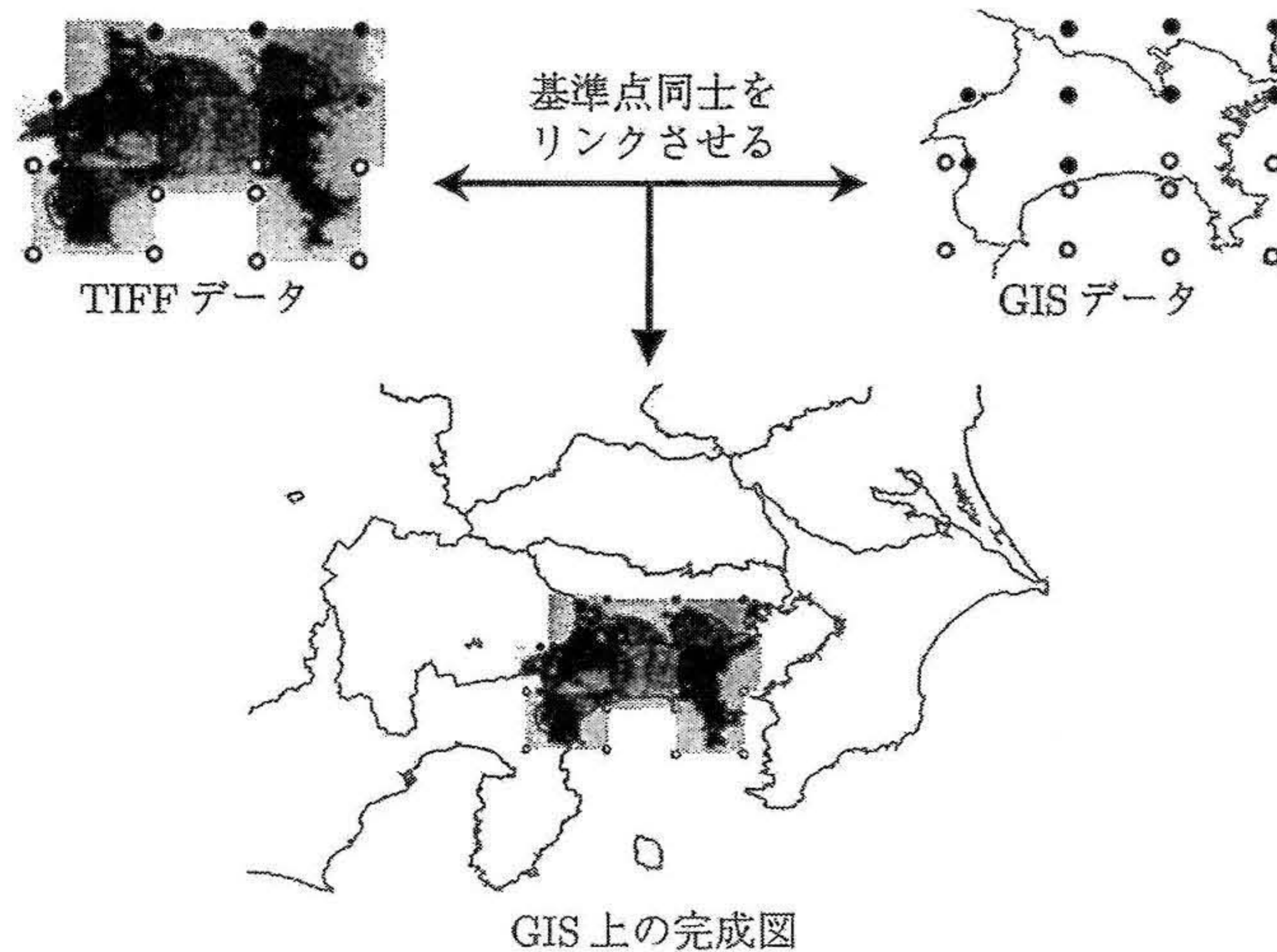


図 8 ジオリファレンス概要図

要である。地域における揺れ易い場所を把握することは極めて重要であり、揺れ易さを把握するツールの一つとして揺れ易さマップがある。全国の揺れ易さマップは、2005年に内閣府が統一的な作成方法マニュアル（地震防災マップ作成技術資料，以下，技術資料）をまとめ、1kmメッシュで作成した事例を公表しており、地域内の詳細な揺れの違いを把握するためには、地域の地形の違いに対応したメッシュ規模での評価が必要であるとしている。

本プロジェクトでは、神奈川県平塚市、小田原市を対象として50mメッシュ（標準地域メッシュ第3次区画を20×20分割したメッシュ）での震度マップを試作し、50mメッシュで評価することにより、地域の地形の違いに対応した詳細な揺れ易さマップが作成できることを確認した。本報は、神奈川県内各自治体レベルの詳細な地盤の揺れ易さマップ作成のために、神奈川県全域を対象として50mメッシュでの微地形区分と地盤増幅率図の作成結果について述べる。

神奈川県の微地形区分を縮尺1/50,000の土地分類基本調査図のうち、地形分類図と表層地質図を用いて50mメッシュ単位で地形、地質を読み取って作成された神奈川県のデジタル地盤区分図を用い、技術資料による微地形区分設定手順に基づき15区分の微地形を設定し、微地形区分図を作成し

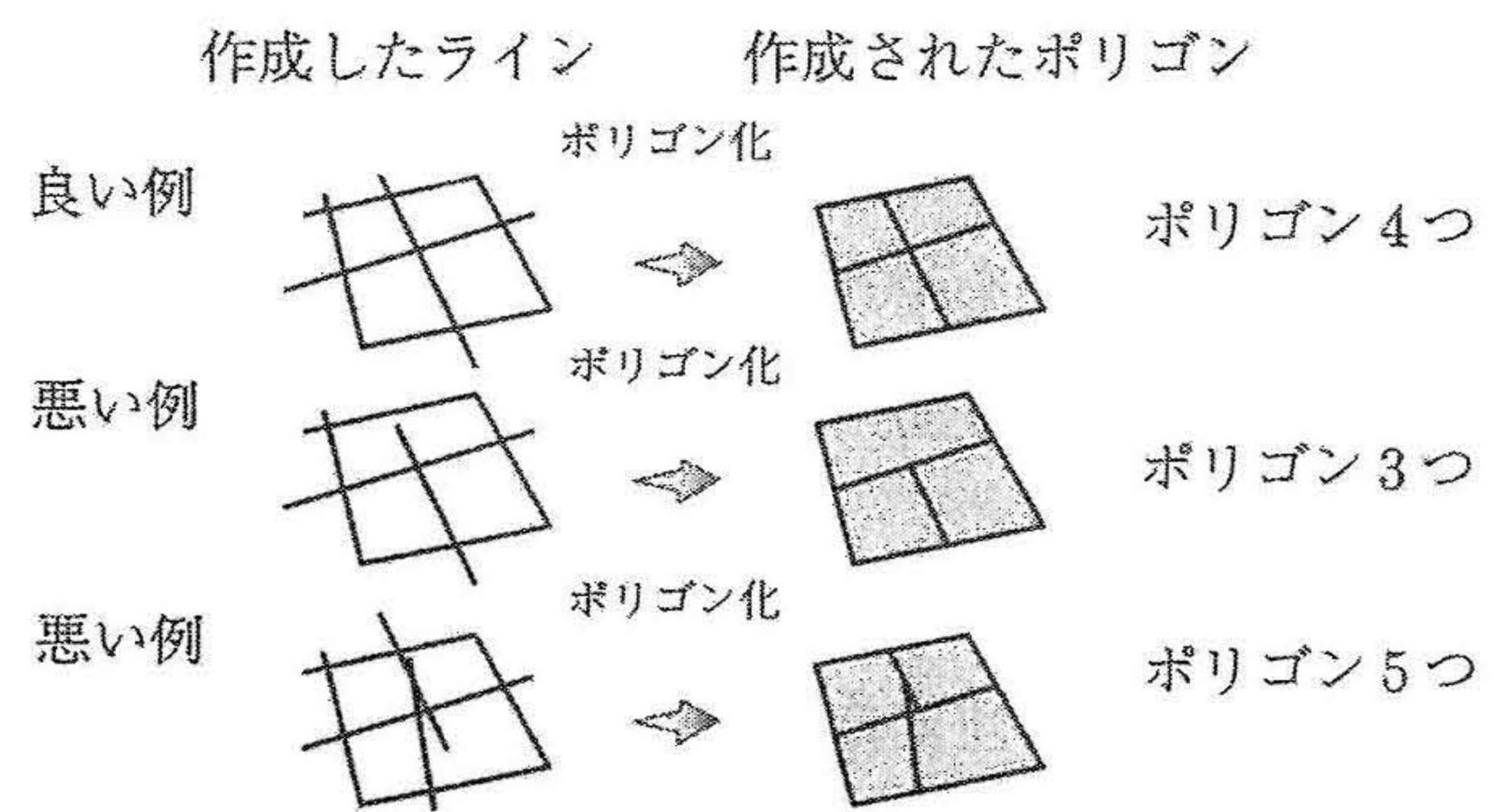


図 9 ラインデータ作成時の注意点

た。作成した微地形区分図を図12に示す。また、比較のため図13に国土数値情報に基づいて作成した250mメッシュによる微地形区分図を示す。両者を比較すると、基本的には同様な微地形区分となっているが50mメッシュの方がより詳細に自然に近い形で微地形区分が表現されている。

地盤の増幅率はMidorikawa et al. (1994)による表層地盤の平均せん断波速度AVS30と最大速度の増幅率の経験式を用いて設定した。AVS30は、松岡ほか(1994)の微地形区分とAVS30の経験式を用い、この際に必要となる微地形区分ごとの係数は技術資料に基づいて設定した。ただし、新第三紀とローム台地については技術資料の係数をそのまま用いてAVS30を算定し増幅率を計算すると、図14に示すように標高が80mを越えるとローム台地の増幅率が新第三紀よりも小さく評価される。これは、山地(新第三紀)よりもローム台



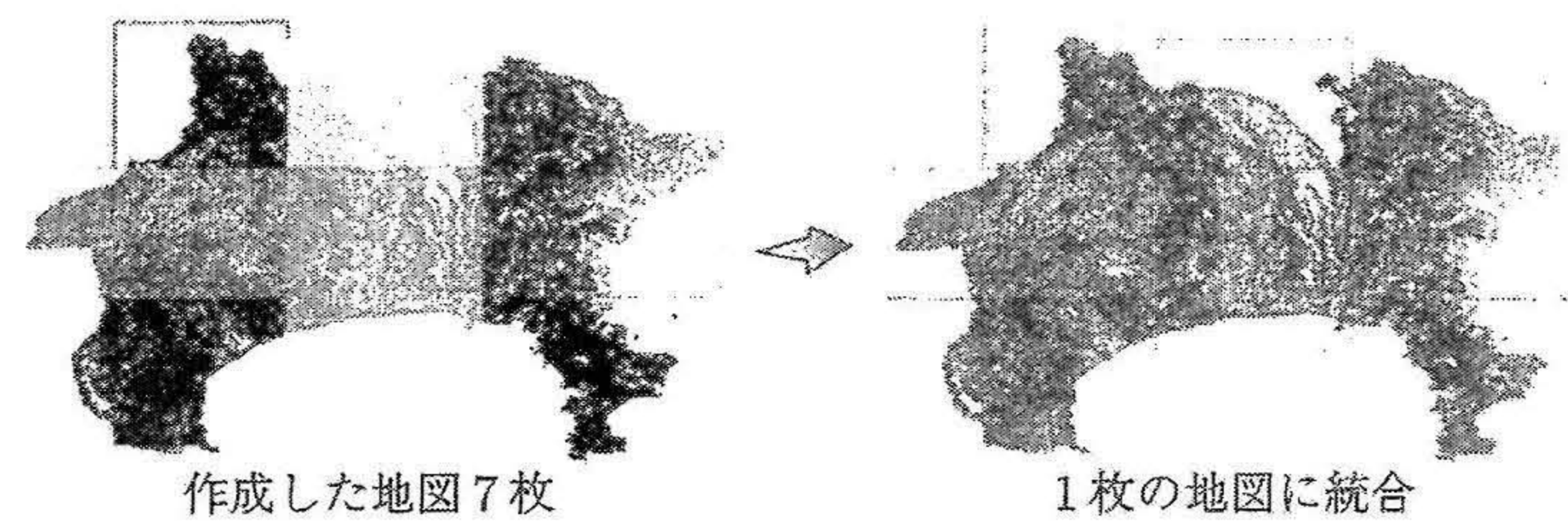


図 10 ユニオン概要図

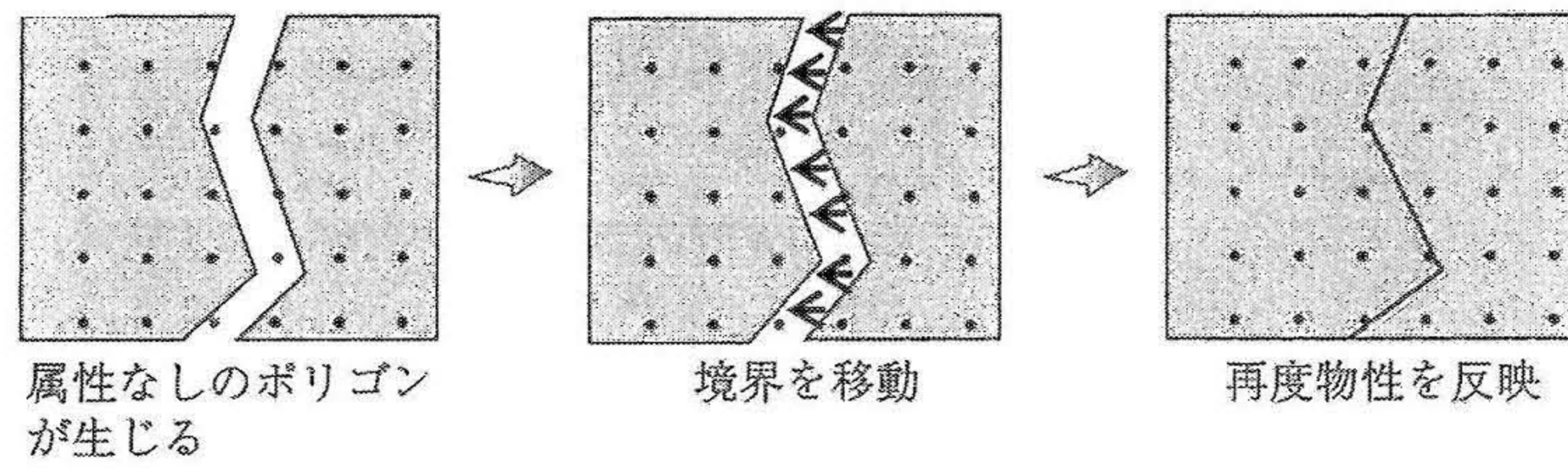


図 11 属性無しポイントの対処例



図 12 微地形区分図 (50 m メッシュ)



図 13 微地形区分図 (250 m メッシュ)



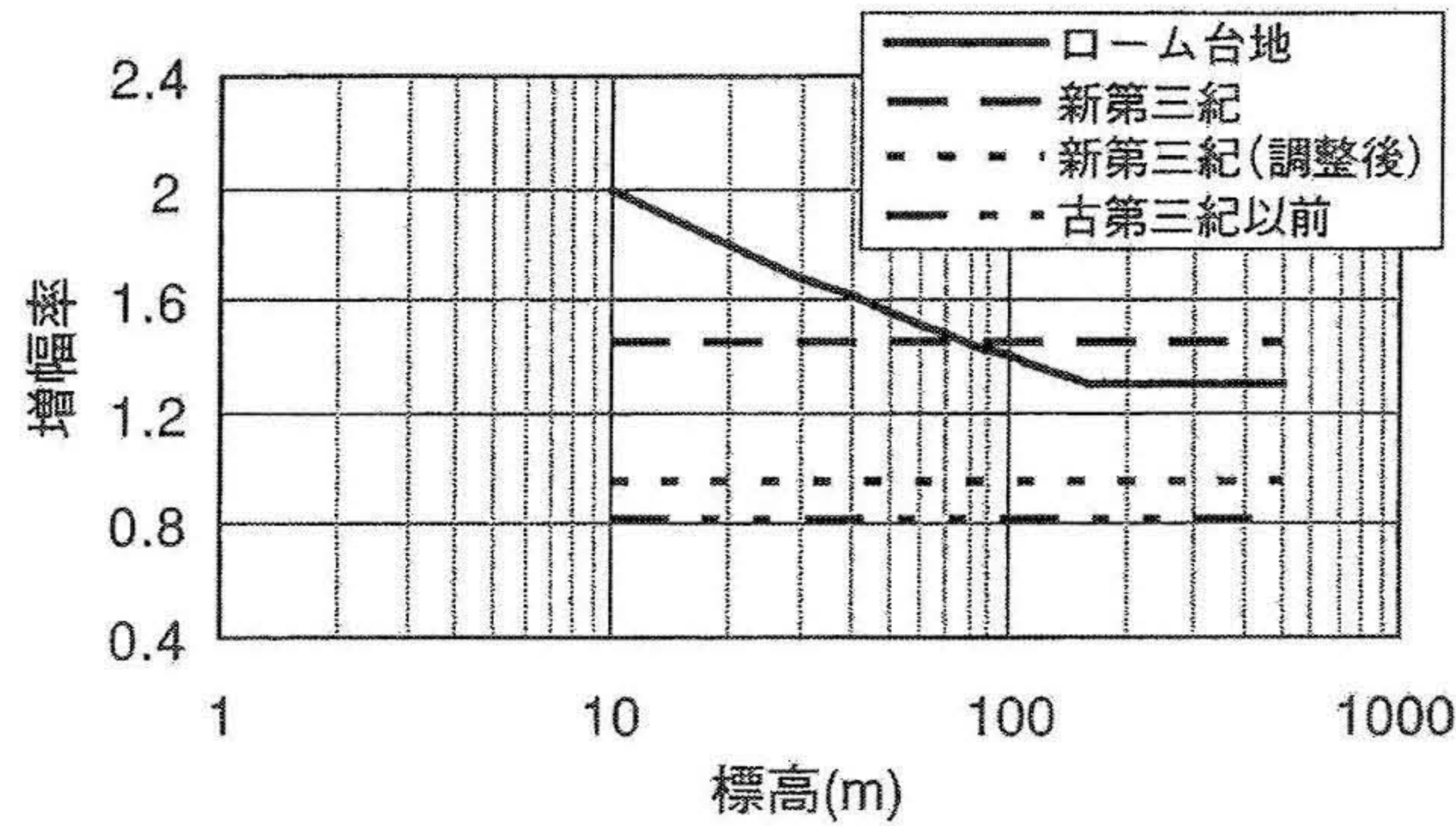


図14 標高と増幅率の関係

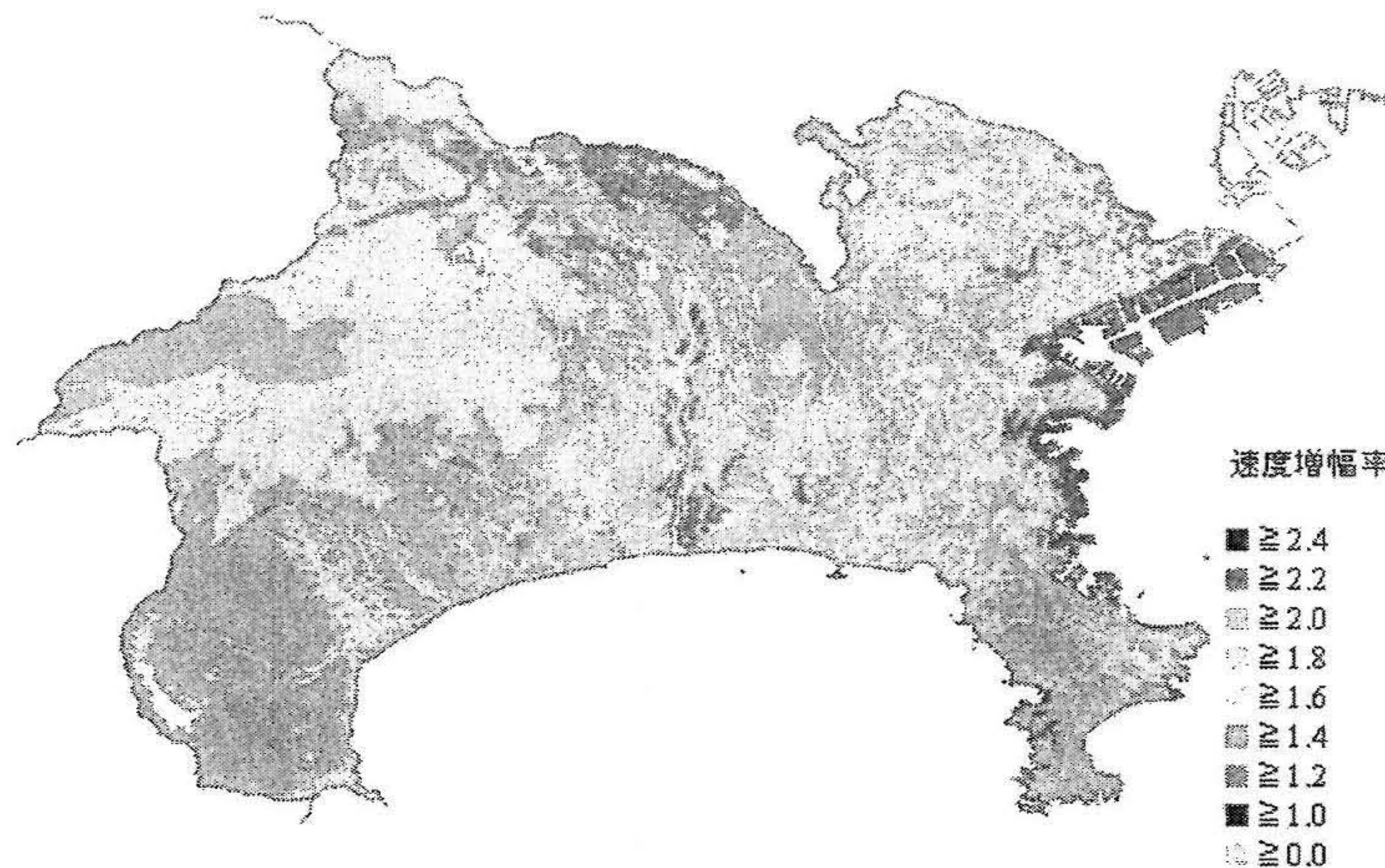


図15 地盤増幅率図

地の方が揺れ易い（増幅率は大きい）といった一般的な傾向とは矛盾する。そこで本検討では、新第三紀の係数には若松ほか（2005）の山地（第三系）の係数を用いた。若松ほか（2005）の山地の係数を用いた場合は、図14に示すように標高に係わらずローム台地の方が山地よりも増幅率は大きくなり、一般的な傾向と矛盾しない。作成した地盤増幅率図を図15に示す。

本プロジェクトで作成した神奈川県全域の50mメッシュによる微地形区分図と地盤増幅率図は、神奈川県大学本研究室が運営する防災フロンティアのホームページ（<http://bousai-frontier.net/index.html>、図16にて「神奈川県版揺れ易さマップ」として公開を行った。ホームページでは神奈川県全域版のほかに市区町村単位に分割した微地形区分図と地盤増幅率図を公開した。市区町村単位の例として横浜市神奈川区の地盤増

幅率図を図17に示す。

### 5. ハザードマップの作成

地域防災力の向上には、住民が地域の地震災害に対する危険性を正しく理解・認識することが必要である。住民に理解され易い情報としては、具体的な地域やシナリオに基づいた評価を視覚的に表現することが重要である。前節において神奈川県を対象として50mメッシュによる微地形区分図と地盤増幅率図を作成し、ホームページにて「神奈川県版揺れ易さマップ」として公開を行った。本報では、神奈川県全域において建物データを整備し、神奈川県に影響を及ぼすと考えられる地震が発生した場合の建物被害率を算出し、地域危険度マップとしてハザードマップの作成を行った。

ハザードマップの作成にあたって、建物の構造





図 16 防災フロンティアのホームページ（揺れ易さマップ）



図 17 市区町村単位の地盤増幅率図の例（神奈川県）

種別や建築年代別の分布状況を把握することが重要となる。ここでは、神奈川県県土整備部による平成 12 年度基礎調査・建物現況の 1 棟単位のデータを用いて、建物の構造種別・建築年代別棟数を 50m メッシュ単位で整備した。構造種別に関しては、木造・RC 造 (SRC 造含む)・S 造・軽量 S 造・その他・不明の 6 種類、建築年代に関しては、1971 年以前・1972 年～1981 年・1982 年以降の 3 期間に分けてそれぞれ集計を行った。結果の一例として 50m メッシュの木造建物の棟数分布を図 18 に、非木造建物の棟数分布を図 19 に示す（全建築年代の総数）。

神奈川県に影響を及ぼすと考えられる 10 地震を想定地震として設定した。各想定地震による工学的基盤の最大速度を司ほか (1999) による距離

減衰式で求め、地盤増幅率図で設定した表層地盤増幅率を乗じることにより地表での最大速度を算定した。地表での震度は、童ほか (1996) による最大速度と計測震度の経験式を用いて換算し、震度分布図を作成した。各地震による震度分布図を図 20 に示す。

図 20 から神奈川県では関東地震が支配的であり、他の地震の最大震度を概ね包含していることが分かる。

建物全壊棟数は、地表の最大速度と建物棟数から村尾ほか (2000) の被害関数を用いて 50m メッシュで計算した。地域危険度マップ作成においては、50m メッシュで計算した建物全壊棟数を 250m メッシュで集計して建物全壊棟数率を算出し、建物全壊棟数率を基に 7 段階の建物被害危険度ラン



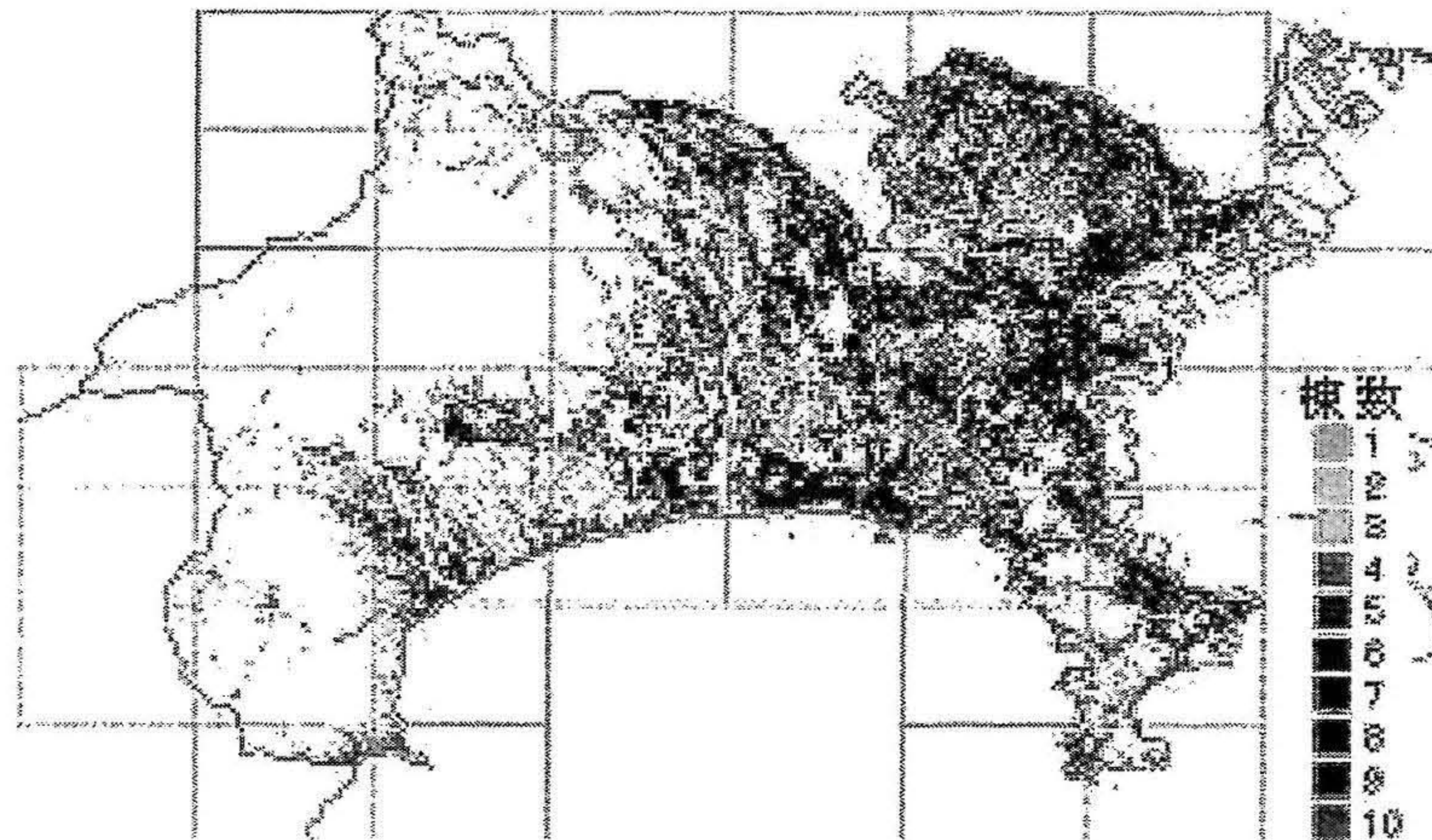


図 18 木造建物の棟数分布 (50 m メッシュ)

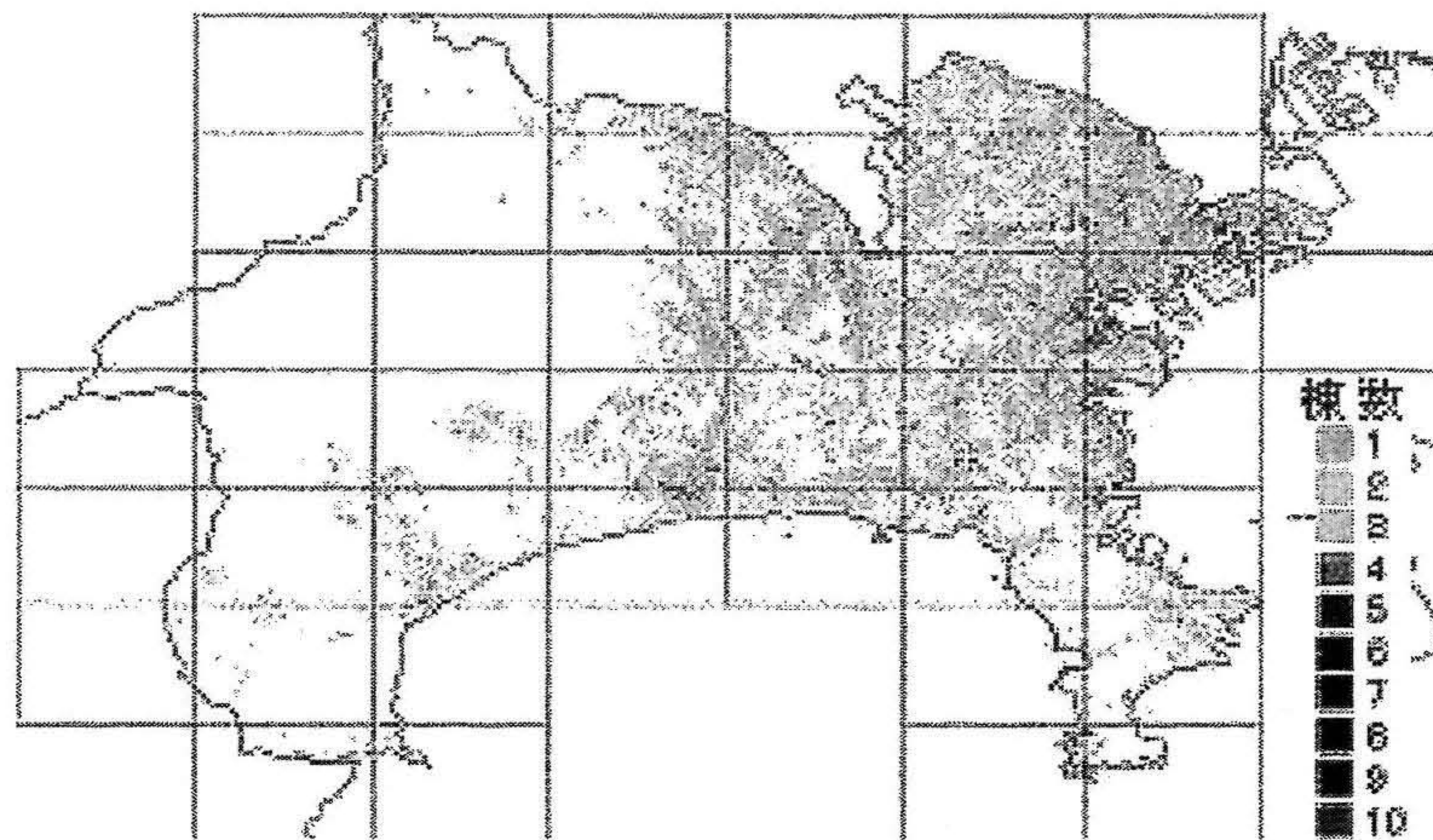


図 19 被木造建物の棟数分布 (50 m メッシュ)

クを設定した。ハザードマップの一例として、関東地震の結果を図 21 に示す。図 21 から、太平洋沿岸付近と河川沿いの平野部を中心に、建物危険度 7 (全壊率 30%以上) の地域が広がっている。

地域防災力の向上のために、50m メッシュの地盤データと、1 棟単位のデータを元に作成した建物データを用いて地域危険度マップを作成した。本報では、神奈川県全域で作成した危険度マップを一例として挙げているが、より住民の理解がし易い各市町村単位での危険度マップも試作している。試作した地域危険度マップは、神奈川大学荏本研究室が運営する防災フロンティアのホームページにて公開する予定であり、住民が地震時の危険度を把握するための有益な情報になると考える。

## 6. まとめ

地盤と地震災害は極めて強い関連性があり、地盤の揺れ易さが地震災害を増大させる傾向がある。このことは、過去に発生した多くの地震災害に認められ、指摘されていることであり、将来発生することが危惧されている地震災害を軽減させる上で大変重要である。1995 年阪神・淡路大震災により顕著となった大都市の地震災害では、地震動の強さに起因する各種構造物の被害に代表される「直接被害」と地震災害の発生後に社会環境に起因して顕在化する被害の連鎖・波及構造による「間接被害」とを重ね合わせた総合的な災害規模が大きな問題となる。このことに関しては、事前に「直接被害」と「間接被害」の両被害量を想定し得る被害想定調査を実施する必要がある、その基礎とな



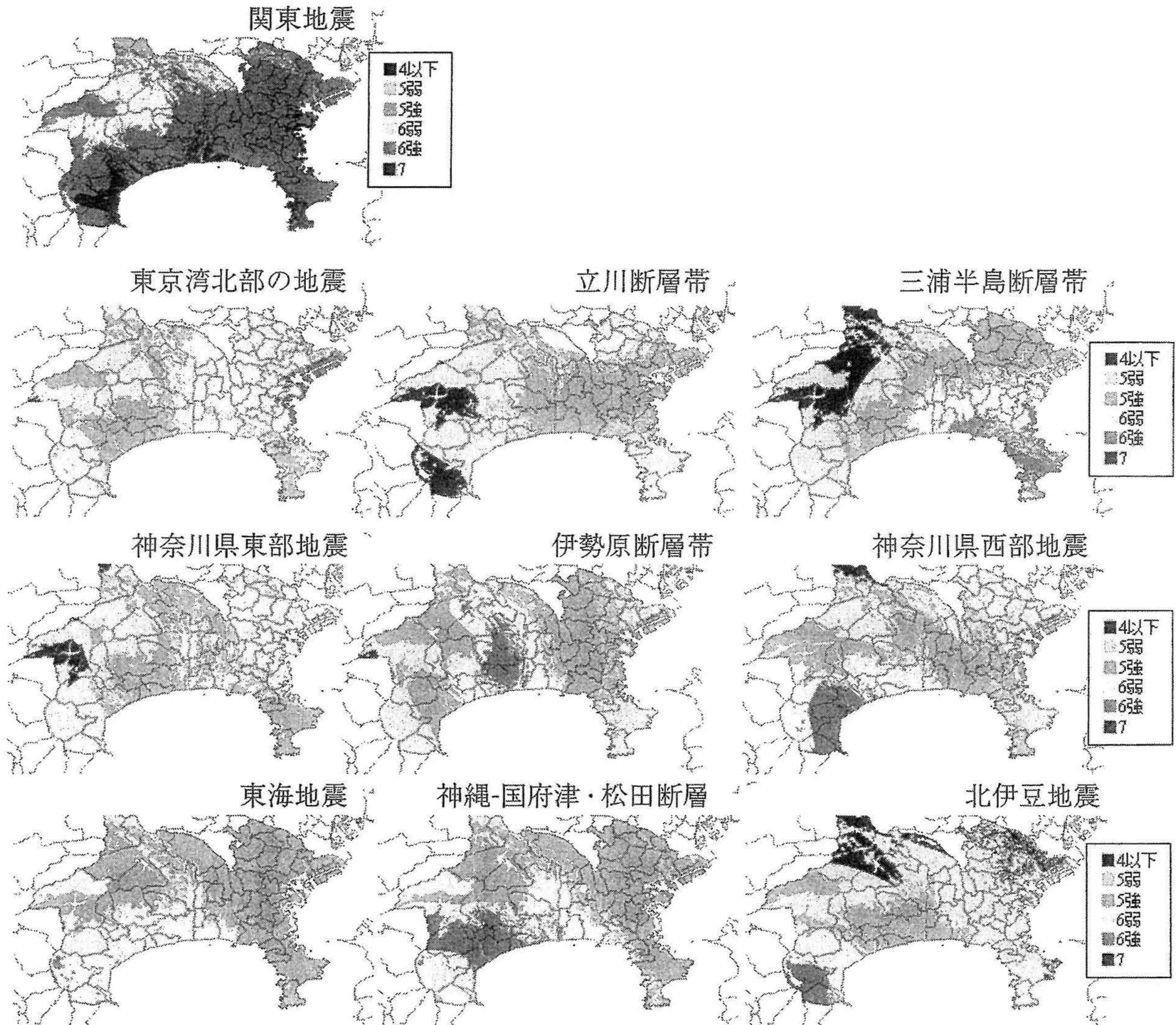


図 20 各想定地震による震度分布

る情報として本論で述べた詳細なデジタル形式の「地盤区分図」や「地盤増幅率図」の作成と利活用を図ることが必要であり、同時にボーリングデータなど地盤関連情報の収集・整理とデータベース化による地盤震動特性の検討が必要不可欠となる。そして最終的には地域の防災性を高めるハードとソフト防災対策を構築するために「揺れ易さマップ」や「ハザードマップ」の作成と公開を基本とする地震災害リスクマネジメントが重要となるものと考えている。

今後の課題としては、震源特性や伝播経路特性を考慮した地震動特性の評価と建物の分類とその被害判定の評価基準の統一ならびに比較的新しい

構造形式の建物の力学的評価である。同時に主に建物を主体とした地域特性と時代的変遷による経年劣化をいかに考慮して行くかというやや細かい点に対する配慮である。また、他の観点からすれば、効率的な建物分布に関する基礎データ収集の方法論の確立である。現在コンピュータを最大限利用した地理的情報システムや都市情報管理システムといったシステム構築が進められているため、利用可能なデータのデータベース化であろう。

大都市・中小都市・市町村単位など、どのような地域単位を対象としようとも、少なくとも地盤と木造・非木造建物別の分布状況に関する調査資料を作成しておけば、想定される地震に対する簡



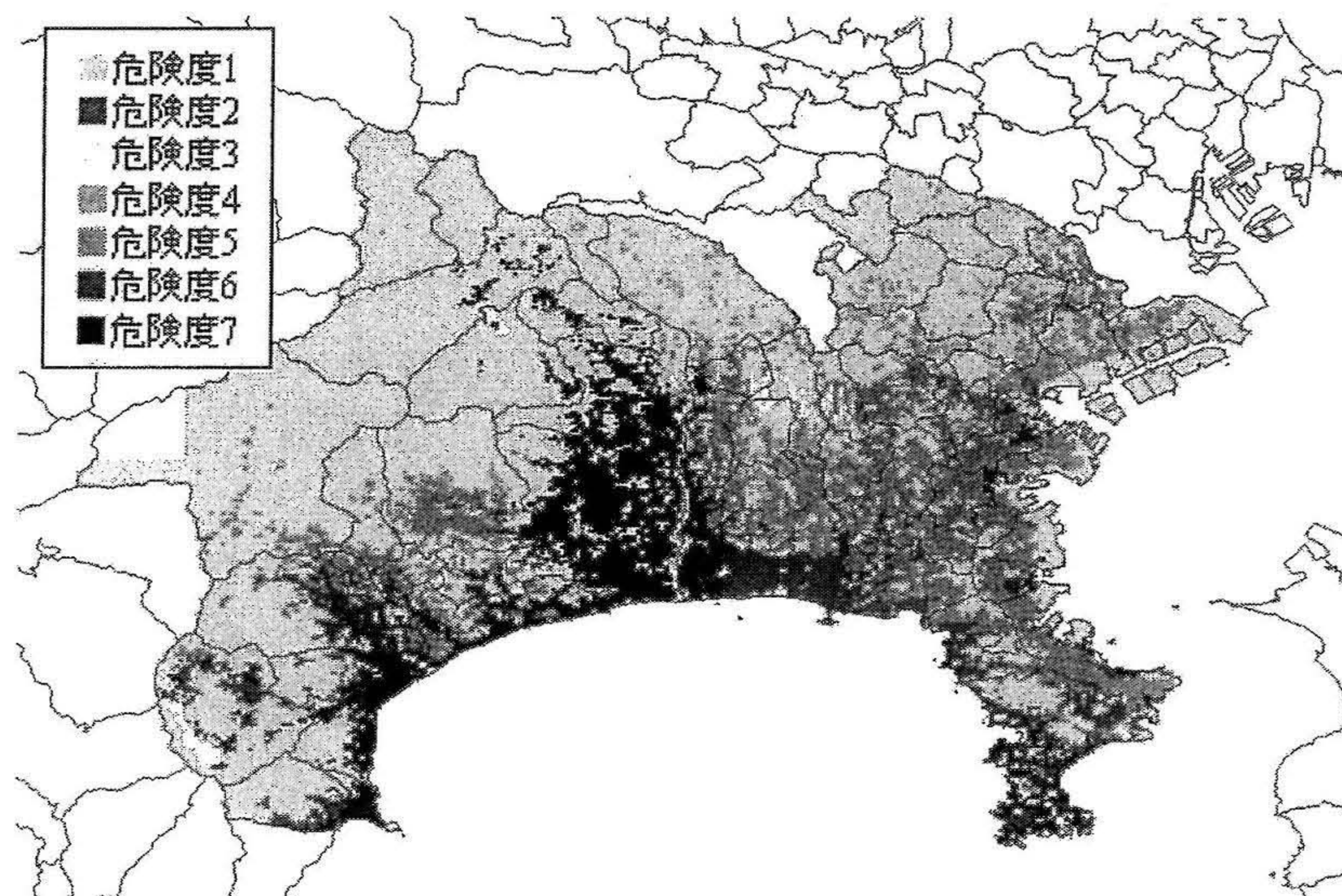


図 21 関東地震を想定した場合のハザードマップ

単な被害想定あるいは地域危険度調査はハザードマップとして即時に可能となり、地域の相対的な危険度評価と住民の認識へのフィードバックにより、地域の地震防災に関する基礎的な情報となる。このことは、「直接被害」と「間接被害」で見積もられる総被害量の軽減にも大きく寄与するものと考えられる。また、このような調査を予め更新し整理してあるデータに基づいて、10年程度の間隔で被害想定調査の見直し図ることも重要なことであり、さらに引き続いて、その他建物以外の施設を対象としたやや詳細な被害想定調査へもスムーズに移行し、都市型震災を対象とした被害想定とハード面とソフト面の震災対策を考慮した地域防災計画の策定のための作業も比較的容易になるものと思われる。いずれにしても、上述のように効率的な基礎データの収集・管理・利用に関する方法論を早急に構築し、予め作成し利用できる環境にしておくことが最も重要な課題であろう。

#### 謝辞

本論中の“揺れ易さマップ”の作成にあたり、共同して開発に協力頂いた環境防災技術研究所(株)、構造計画研究所(株)に厚く御礼申し上げます。なお、本研究は、神奈川県における文部科学省学術フロンティア研究プロジェクト「災害リスク軽減を目的としたソフト・ハード融合型リスクマネ

ジメントシステムの構築に関する研究(研究代表者:荏本孝久)」の一環として実施したものであります。

#### 【参考文献】

- [1] 小出ほか：神奈川の大地—岩石・鉱物・地層・歴史—，有隣堂，2001年
- [2] 1/5万土地分類基本調査(地形分類図，地質分類図)「横須賀・三崎」「藤沢・平塚」「小田原・熱海・御殿場」「八王子」「上野原・五日市」「秦野・山中湖」「横浜・東京西南部・東京東南部・木更津」(神奈川県)
- [3] 内閣府：地震防災マップ作成技術資料，2005年
- [4] Midorikawa, S., et al.: Site Effect of Strong-Motion Records Observed during the 1987-Chiba-ken-toho-oki, Japan Earthq. Eng. Sympo, Vol.3, pp.85-90, 1994
- [5] 松岡ほか：国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング，第22回地盤震動シンポ，建築学会，pp.23-24，1994年
- [6] 若松ほか：日本の地形・地盤デジタルマップ，東京大学出版会，2005年
- [7] 防災フロンティア URL：<http://bousai-frontier.net/index.html>
- [8] 神奈川県県土整備部都市計画課：都市情報データ，2000年
- [9] 司ほか：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，No.523，pp.63-79，1999年
- [10] 童ほか：計測震度と従来の地震動強さ指標の対応関係，土木学会第51回年次学術講演会梗概集，



pp.458-459, 1996 年

- [11] 村尾ほか：自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数，日本建築学会構造系論文集，第 527 号，pp.189-196, 2000 年
- [12] 橋本ほか：地域の地形に対応した地震防災マップの作成（その 3）微地形区分に基づく神奈川県の50 m メッシュ地盤増幅率，日本建築学会大会（中国），2008 年
- [13] 落合ほか：地域の地形に対応した地震防災マップの作成（その 4）地域危険度マップの作成，日本建築学会大会（東北），2009 年