

解像力の異なる数値標高モデルを用いた傾斜量図による地形表現

Landform Analysis on the Digital Elevation Model Using Low- to High-resolution Remote Sensing Data

新井田 秀一¹⁾

Shuichi NIIDA¹⁾

Abstract. Landform analyses using various-sized DEMs (digital elevation models) were compared with slope distribution and topographic maps. Even though using low-resolution data, it is possible to recognize macromorphological features such as major tectonic lines and older geologic terranes of Northeast Japan. On the other hand, higher-resolution data are necessary for analysis of small-scale and/or minor landforms such as erosion pattern shown by valley spacing, lineament related to fault scarp, terrace scarp, etc. Landform analyses using DEMs are useful for understanding relation between morphological and geological developments.

Key words: DEM, slope map, landform analysis, resolution

はじめに

数値標高モデル (Digital Elevation Model ; DEM) は、ある格子点間隔 (メッシュ) ごとの標高値をデジタル化したものである。

地球全域をカバーする DEM は、緯度経度ともに 5 分間隔で標高値を整備した 5-Minute Gridded Global Relief Data Collection (ETOPO 5) が、1988 年にアメリカ海洋大気庁 (NOAA) の環境衛星データ・情報局 (NESDIS) から公開された。このメッシュサイズは、日本周辺では約 9 km に相当する。2001 年には、Global Gridded 2-minute Database (ETOPO 2) が公開された。これは、緯度経度 2 分間隔で、日本周辺では約 4 km メッシュにあたる。最新のものとして 2009 年に 1 Arc-Minute Global Relief Model (ETOPO 1) が公開された。このデータは、緯度経度 1 分間隔で、日本周辺では約 2 km メッシュになる。これらの DEM は、陸上から海洋底までを含んでいるのが特徴である。

日本国内をカバーした DEM は、国土地理院の「数値地図 (標高)」である。水平距離約 250 m 間隔 (経度 11.25 秒×緯度 7.5 秒) の「数値地図 250 m メッシュ (標高)」(250m DEM と表す)、約 50 m 間隔 (経度 2.25 秒×緯度 1.5 秒) の「数値地図 50 m メッシュ (標高)」(50 m DEM と表す) である。また、250m DEM から生

成した約 1 km 間隔 (経度 45 秒×緯度 30 秒) の「数値地図 1 km メッシュ (標高)」(1km DEM と表す) と、1 km メッシュに含まれる 250m DEM の標高を平均した「数値地図 1 km メッシュ (平均標高)」がある。

2000 年に北海道地図 (株) から発売された GISMAP Terrain は、2 万 5 千分の 1 地形図から生成した 10 m 間隔の等高線から、約 10 m 間隔 (経度 0.45 秒×緯度 0.30 秒) の標高値を読み取ったものである (GISMAP-10 m と表す)。

地形図をベースにした最新のものは、2008 年に公開された約 10 m 間隔 (経度緯度 0.4 秒) の「基盤地図情報 (数値標高モデル) 10 m メッシュ (標高)」(10m DEM と表す) である。また、写真測量や航空機レーザ測量による高解像度な DEM として、経度緯度 0.2 秒間隔の「基盤地図情報 (数値標高モデル) 5 m メッシュ (標高)」(5m DEM と表す) が、整備の完了したエリアから順次公開されている。

衛星画像を利用したものとしては、地球観測衛星 Terra/ASTER の観測データから生成した 30 m メッシュ (経度緯度 1 秒) の DEM、ASTER 全球 3 次元地形データ (ASTER G-DEM、G-DEM30m) が、2009 年度から公開されている。2008 年 8 月までに観測されたデータを用いて立体視観測を行い、北緯 83 度から南緯 83 度までのほぼ地球全域の陸域をカバーしている。

このように整備された DEM を使った地形解析は、野上 (1985) が 250m DEM による処理システムの概要をまとめている。小竹 (1989) では活断層の抽出、吉山 (1990) では水路網の算出が行われている。

¹⁾ 神奈川県立生命の星・地球博物館
〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 499
Kanagawa Prefectural Museum of Natural History
499 Iryuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan
新井田秀一: GFH01253@nifty.ne.jp

表 1. 研究に用いた DEM 一覧.

名称	発行機関	発行年	メッシュ間隔 (経度/緯度)	データ紹介ホームページ	作成方法
5-Minute Gridded Global Relief Data Collection (ETOPO5)	NOAA NGDC	1988年	5分	http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/93mgg01.html	衛星観測データより生成
数値地図1kmメッシュ(標高)	国土地理院	1993年	45秒/30秒		2万5千分の1地形図から読み取り
数値地図250mメッシュ(標高)	国土地理院	1993年	11.25秒/7.5秒	http://www.gsi.go.jp/geoinfo/dmap/dem250m-index.html	2万5千分の1地形図から読み取り
数値地図50mメッシュ(標高)	国土地理院	1993年	2.25秒/1.5秒	http://www.gsi.go.jp/geoinfo/dmap/dem50m-index.html	2万5千分の1地形図から読み取り
GISMAP Terrain	北海道地図(株)	2000年	0.45秒/0.30秒	http://www.hcc.co.jp/work/gismap/youtobetsu/terrain.html	2万5千分の1地形図から読み取り
Global Gridded 2-minute Database (ETOPO2)	NOAA NGDC	2001年	2分	http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html	衛星観測データより生成
ASTER Global DEM (ASTER G-DEM)	経済産業省 およびNASA	2009年	1秒	http://www.ersdac.or.jp/GDEM/J/index.html	地球観測衛星ASTERデータより生成
基盤地図情報(数値標高モデル)10mメッシュ	国土地理院	2008年	0.4秒	http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html	2万5千分の1地形図から読み取り
基盤地図情報(数値標高モデル)5mメッシュ	国土地理院	2008年	0.2秒	http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html	写真測量 航空機レーザー測量
1 Arc-Minute Global Relief Model (ETOPO1)	NOAA NGDC	2009年	1分	http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html	衛星観測データより生成

50m DEM については、神谷ほか (1999) が日本全国の傾斜量図を作成している。傾斜は、地形を分類し、地形をもとに構成地質を推定するための最も重要な地形量である (鈴木, 1997)。また、太田・八戸 (2006) は、傾斜の大きさ、すなわち傾斜量を局所地形量のひとつとして定義している。この傾斜量を用いて、神谷ほか (2000) では、河岸段丘、火山、地すべり地形、構造線・断層、岩石の種類まで判別を試みている。

丘陵地や低山の解析については、50m DEM では解像度が不十分である (高橋ほか, 2003)。斜面崩壊地について太田 (2006) は崩壊斜面の微地形の抽出は難しいとしている。変動地形については宇根・小室 (2000) が空中写真から生成した 5 m メッシュ DEM を用いて信濃川中・下流域について検討している。

このように、DEM のメッシュ間隔つまり解像度は、判読できる地形の種類や大きさに影響を与えている。日本全国をカバーする DEM が入手できる現在、解像度の異なる DEM についてそれぞれの特徴を明らかにするため、傾斜量図を用いた地形判読によって比較検討した。

傾斜量の計測方法

傾斜量の計算は、神谷ほか (2000) に基づく。作図にあたっては Generic Mapping Tools (GMT : <http://gmt.soest.hawaii.edu/>) Ver.4.5.1 を用いた。

傾斜量図からの地形の判読については神谷ほか (2000) に従い、判読のキーとして、「明るさ」、「一様性」、「線間隔」、「鮮明さ」、「方向性」の 5 つを組み合わせながら行った。

使用した DEM

今回の研究に用いた DEM は、表 1 のとおりである。ETOPO5、2、1 のように地球全域を整備している DEM は、日本全域を検討するため、東経 122 度から 154 度、北緯 20 度から 50 度の範囲について抜き出したファイルを作成した。

1km DEM、250m DEM、50m DEM については旧測地系 (日本測地系) から新測地系 (世界測地系) への変換

を行った。1km DEM および 250m DEM は 1 次メッシュ (経度 1 度×緯度 40 分 : 20 万分の 1 地勢図 1 枚分) 単位でファイルが作られているため、東経 122 度から 154 度、北緯 24 度から 46 度の各ファイルを結合した。50m DEM、10m DEM、GISMAP-10m は 2 次メッシュ (経度 7 分 30 秒×緯度 5 分 : 2 万 5 千分の 1 地形図 1 枚分) 単位、5m DEM は 3 次メッシュ (経度 45 秒×緯度 30 秒) 単位となっているので、神奈川県を含む東経 138 度 52 分 30 秒から 139 度 52 分 30 秒、北緯 35 度 05 分から 35 度 45 分の各ファイルを結合した。

G-DEM30 m についても、公開データが緯度経度 1 度単位となっているため、東経 138 度から 140 度、北緯 34 度から 36 度の各ファイルを結合した。

メッシュサイズと判読できる地形サイズ

吉川ほか (1973) によれば、地形は縮尺と等高線間隔によって、大・中・小・微の 4 段階に分けて考えることができる。1000 万分の 1 から 200 万分の 1 の縮尺で等高線が 200 m より広い間隔で表現される地形を「大地形」、縮尺 100 万分の 1 から 20 万分の 1 で等高線 100 m 間隔を「中地形」、縮尺 5 万分の 1 から 1 万分の 1 で等高線が 5 から 20 m 間隔を「小地形」、5000 分の 1 以上で 0.2 m、0.5 m、1 m 間隔を「微地形」と区分している。また、鈴木 (1997) は、以下のようなスケールによる区分をしている。海溝、大陸棚、大山脈など 1000 から 100 km スケールのものを「大」、山地や丘陵、段丘などは 10 km から 100 km スケールとして「中」、成層火山やカルデラ、断層角盆地など 1 km から 10 km スケールを「小」、溶岩円頂丘など 100 m から 1 km スケールを「微」、溶岩堤防や流路など 10 m から 100 m スケールを「極微」としている。

具体的な例としては、「大地形」として奥羽山脈のような脊梁山脈や、糸魚川静岡構造線や中央構造線のように日本を縦横断するような構造線が相当する。「中地形」としては、北上山地や関東平野といった山地や平野など、「小地形」としては関東平野における多摩丘陵、房総丘陵や箱根火山などが上げられる。「微地形」としては、上記の地形を刻む谷など詳細な構造になる。

1. 大地形（日本列島）

大地形について検討するため、日本全体の傾斜量図を作成した。範囲は、北方領土から九州までの東経 131 度 30 分から 147 度 30 分、北緯 28 度から 48 度である。この範囲における ETOPO 5、2、1 および 1km DEM、250m DEM による図を図 1 から図 5 に示す。

平野から山地への地形の変化は、傾斜の変化として白黒の濃淡によって表わされる。特に傾斜が急変しているところでは、濃淡も急激に変化する。ETOPO 5 からは、日高山脈、奥羽山脈、越後山脈、関東山地、赤石山脈、木曾山脈、飛騨山脈が急激な濃淡の変化によって、つまり傾斜によって判読できる（図 1）。海底地形については、千島海溝、日本海溝、相模トラフ、南海トラフ、熊野トラフ、四国海盆、大和堆、日本海盆、大和海盆、対馬海盆などが判読できる。日本海溝と奥羽山脈が平行に存在していることがわかる。

ETOPO 2 では、前述の地形がよりはっきりするだけでなく、紀伊山地や四国山地、九州山地を読み取ることができる（図 2）。海底地形は、西七島海嶺や銭洲海嶺などに存在する海山の輪郭がはっきりとしてくる。

ETOPO 1 では、糸魚川静岡構造線や中央構造線が判読できるだけでなく、鈴鹿山脈、生駒山地、和泉山脈など近畿三角帯の地形も判読できる（図 3）。海底地形についても、海溝斜面にあるテラス状の地形や、潮岬沖の潮岬海底谷など 10 km に満たない幅の地形が判読できる。

1km DEM および 250m DEM では、東北日本において奥羽山脈のような急傾斜の山脈と阿武隈山地のような傾斜の緩い山地の比較が容易になる（図 4、図 5）。これより詳細な DEM については、海底部の水深データが DEM に記録されていないため、傾斜量を計算できない。

日本列島の傾斜量図では、ETOPO 5 から 1 では、傾斜量の表現にタイルパターンが目立つが、1km DEM や 250m DEM では滑らかであり、あまり差が見えない。そこで、本州中央部のフォッサマグナ周辺を拡大して比較する。東経 136 度 40 分から 141 度 05 分、北緯 34 度 34 分から 37 度 20 分の範囲について、1km DEM による傾斜量図を図 6、250m DEM によるものを図 7 に示す。この範囲において 1km DEM は、タイルパターンが多少目立つ。そのため、細かい山ひだを判読することはできないが、数十キロ連続する構造線や河川については大まかに判読できる（図 6）。250m DEM では、赤石山脈、木曾山脈、飛騨山脈など急傾斜の場所が多い場所や、糸魚川静岡構造線、中央構造線、棚倉構造線などがきれいに判読できる（図 7）。関東地方では「中地形」である関東山地、越後山地、足尾山地、三国山脈や関東平野だけではなく、鬼怒川低地、常総台地、両総台地、房総丘陵などの「小地形」といえる台地や丘陵の地形が判読できる。特に、房総丘陵では 1km DEM より 250m DEM のほうが、下総台地の南東端の傾斜の急変を判読することができる。

DEM の解像度ごとに判読できた地形とその水平スケールについて、表 2 にまとめる。キロメートル単位での

表 2. メッシュサイズごとに判読された地形。

DEM名	日 本 全 体	本州中央部	判読できる 水平スケール
ETOPO5	大きな地形構造が からうじて見える		50km以上
ETOPO2	大地形境界が判読できる		20km以上
ETOPO1	糸魚川静岡構造線や中央構造線が おおまかに判読できる		10km以上
1km DEM	構造線類がかなり判読できる	山ひだは判読できない 構造線のつながりは判読できる	5km以上
250m DEM		丘陵・台地の輪郭が分かる 構造線・活断層の判読ができる	1km以上

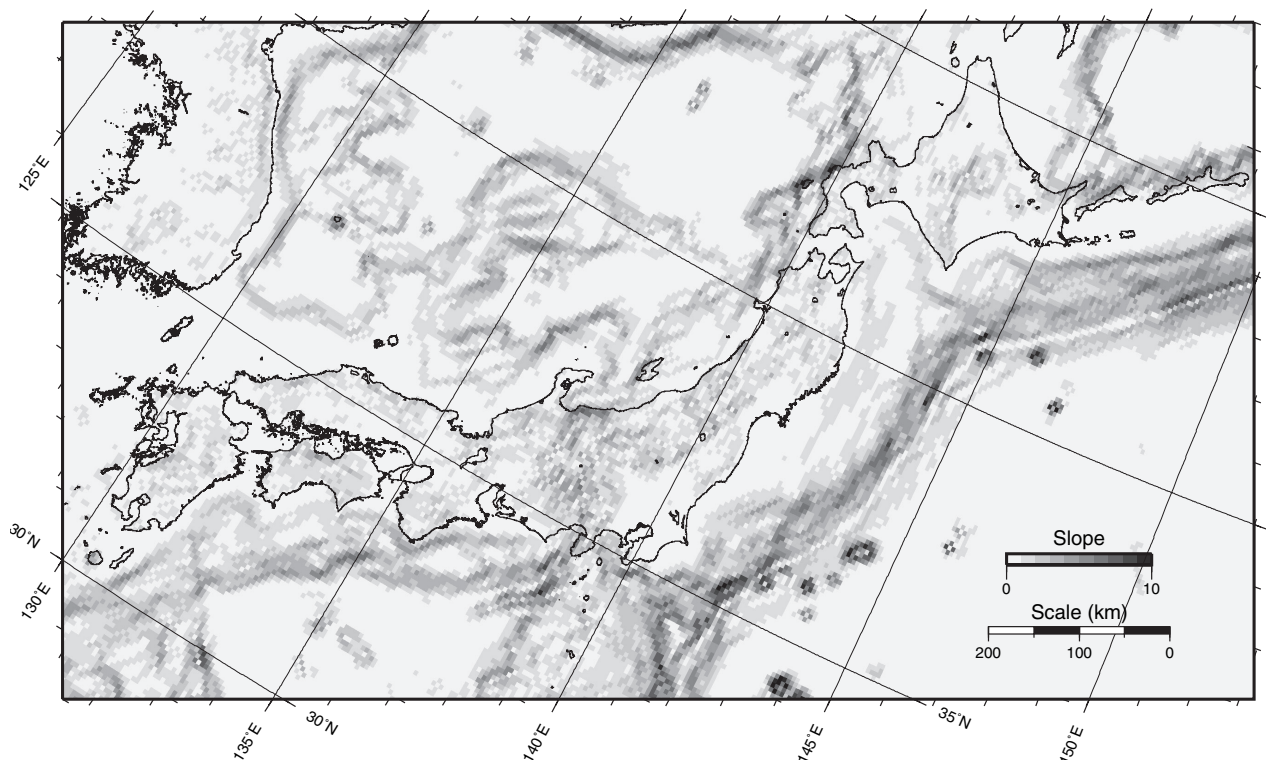


図 1. ETOPO 5 による日本の傾斜量図。

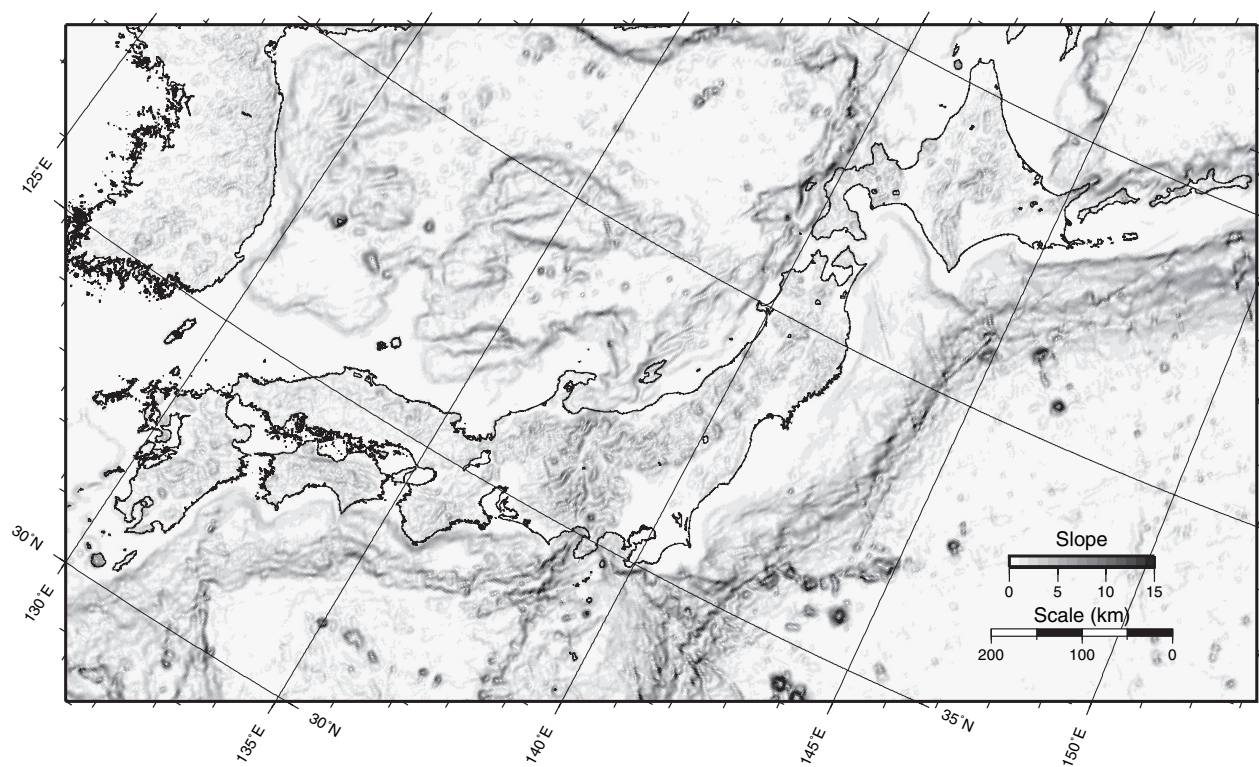


図 2. ETOPO 2 による日本の傾斜量図.

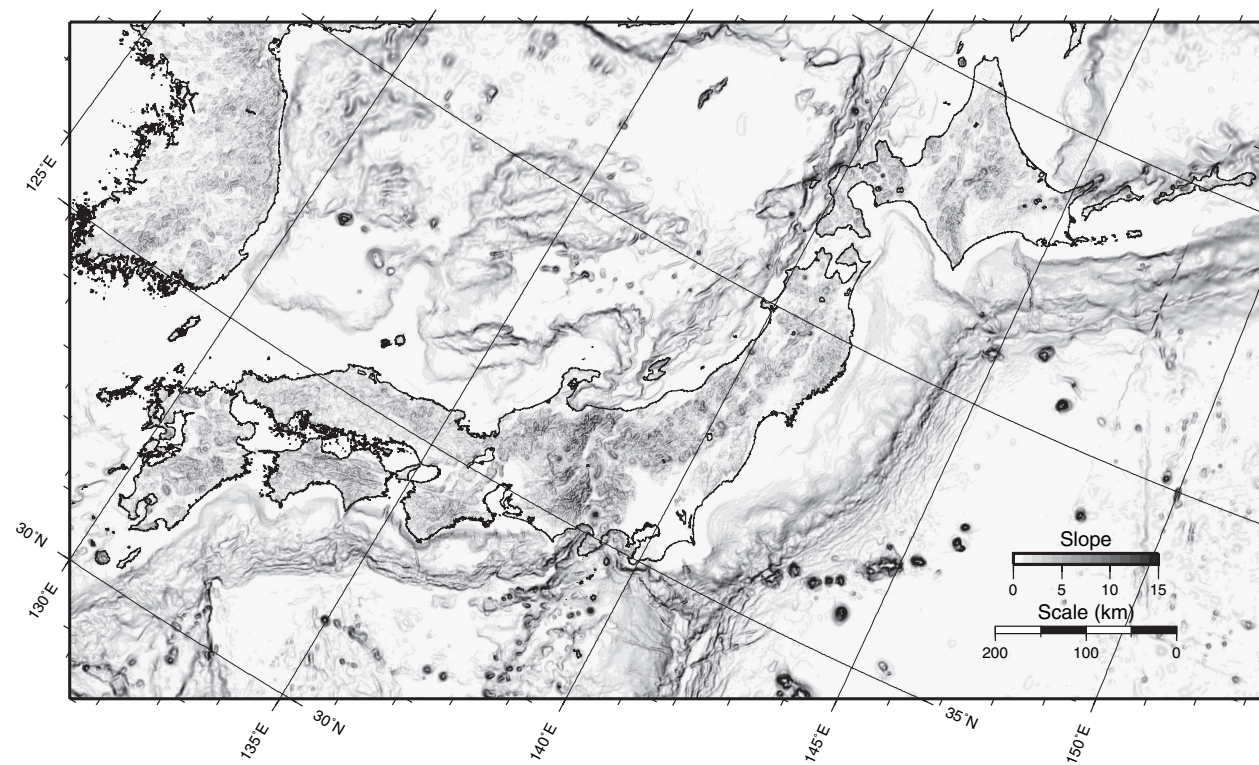


図 3. ETOPO 1 による日本の傾斜量図.

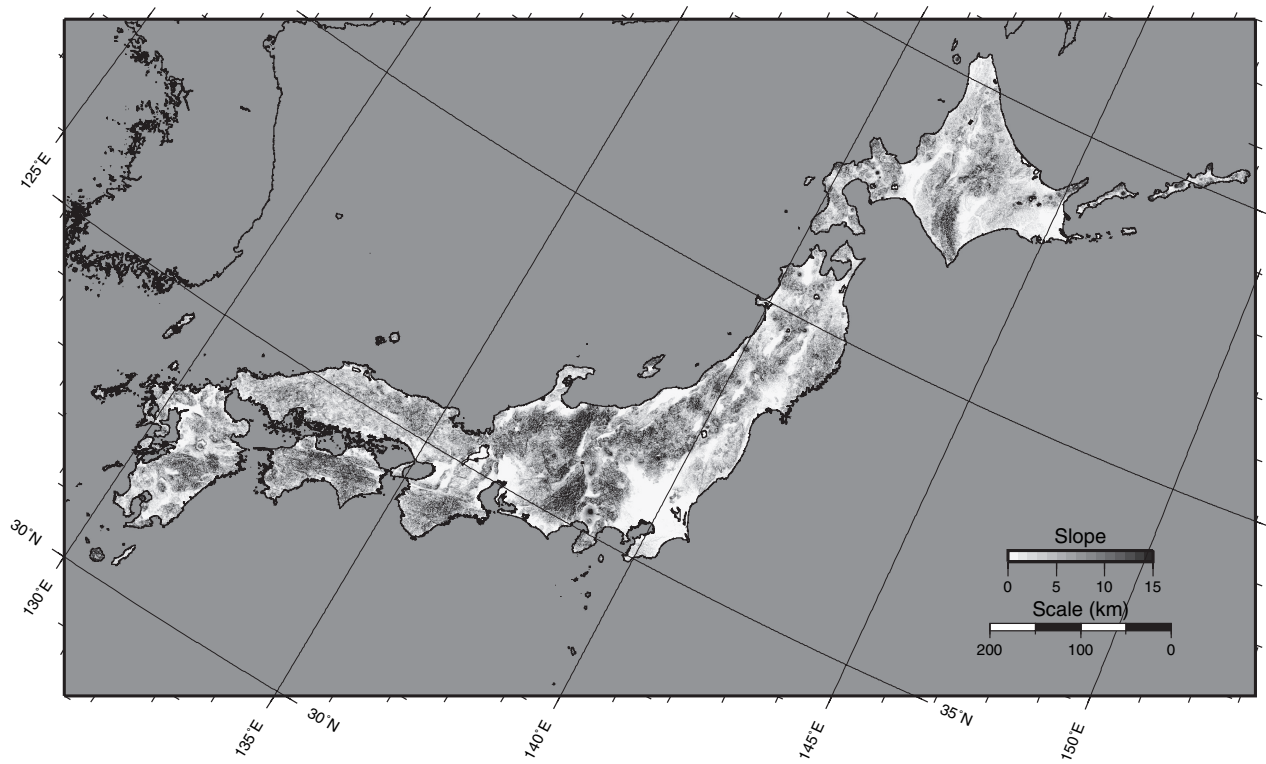


図 4. 1km DEM による日本の傾斜量図.

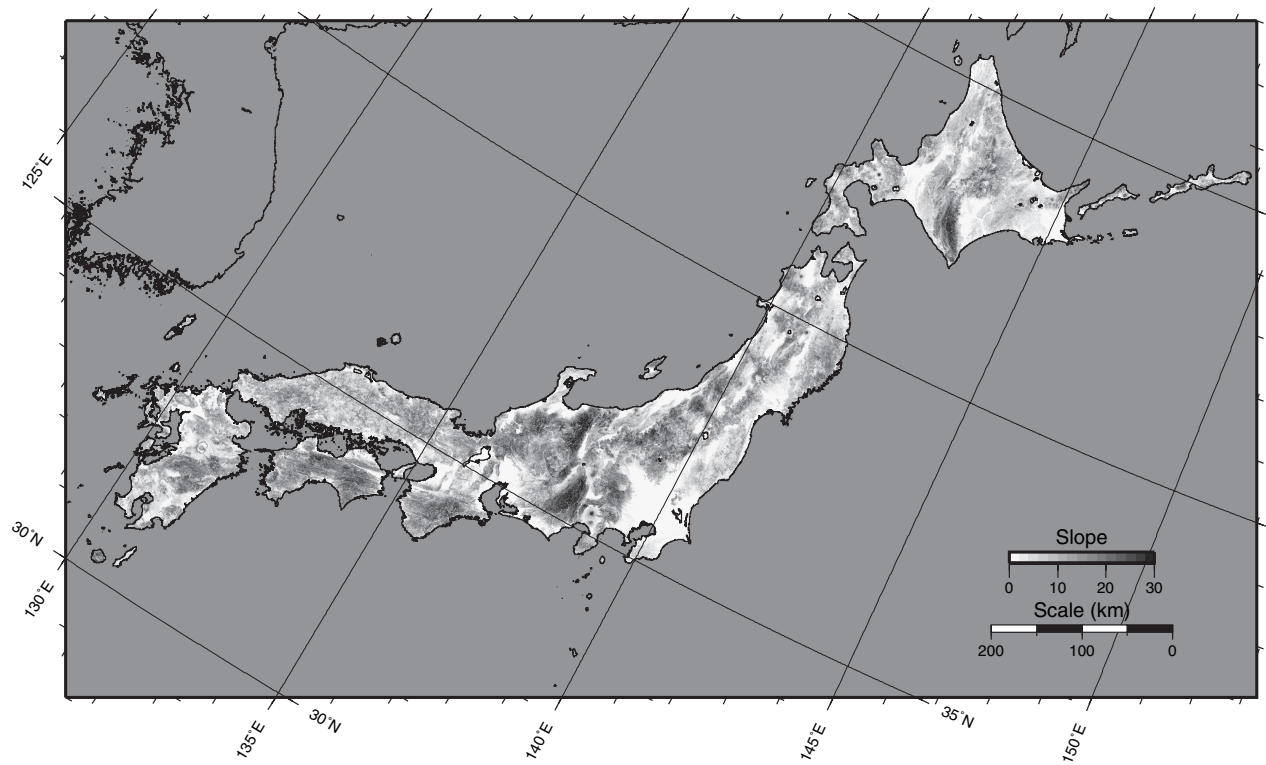


図 5. 250m DEM による日本の傾斜量図.

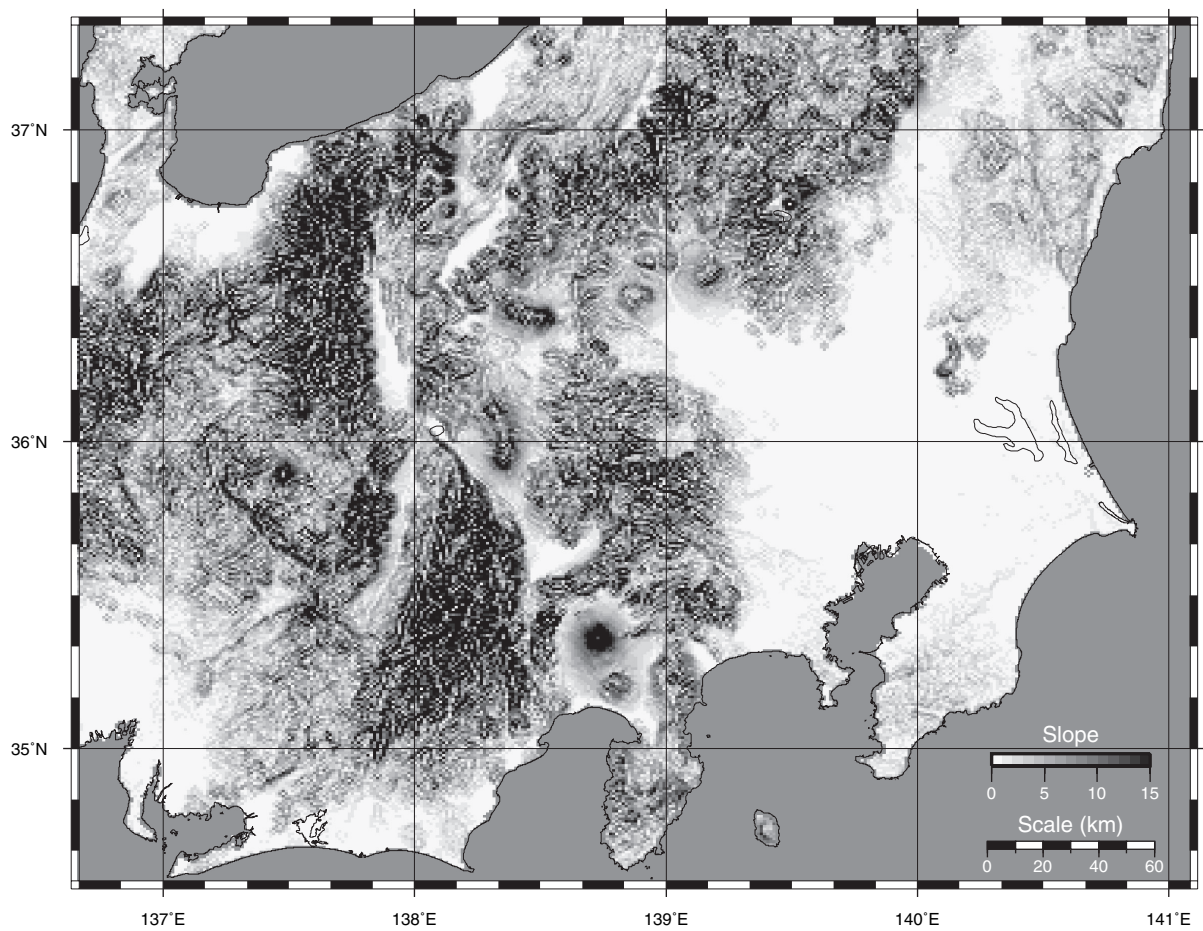


図 6. 1km DEM による本州中央部の傾斜量図.

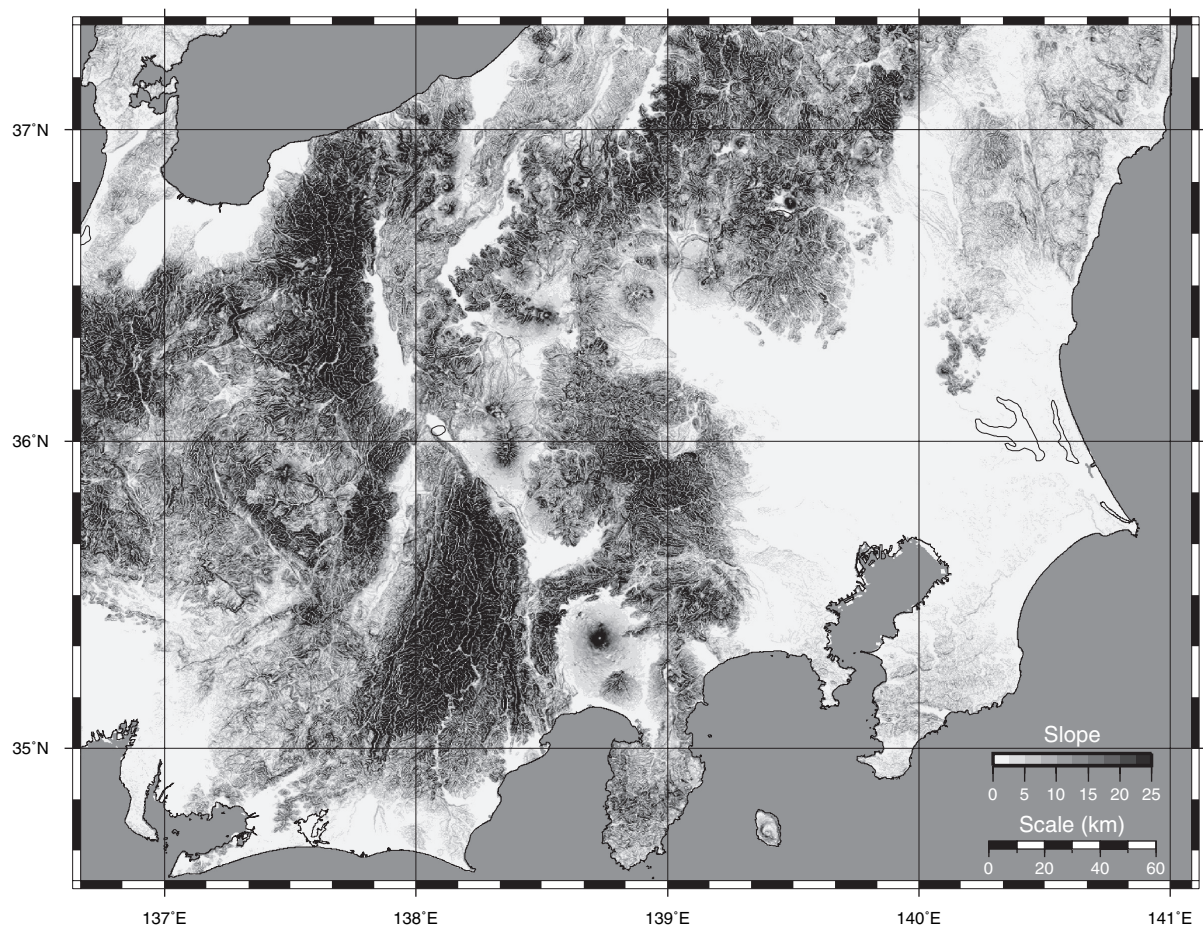


図 7. 250m DEM による本州中央部の傾斜量図.

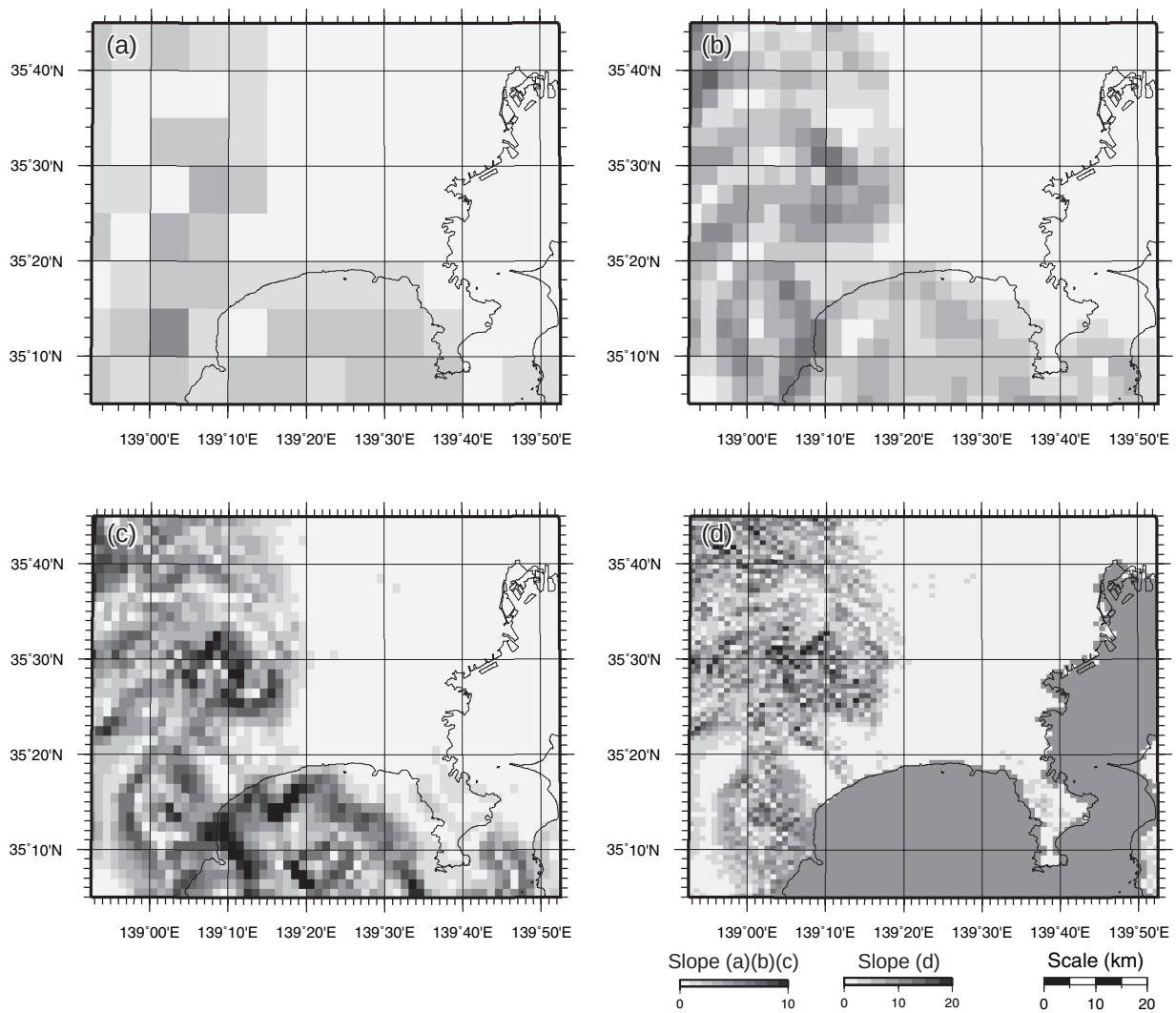


図 8. 神奈川県傾斜量図.

(a) : ETOPO 5, (b) : ETOPO 2, (c) : ETOPO 1, (d) : 1km DEM

メッシュサイズの DEM は、そのメッシュサイズに応じたスケールの地形を判読することができることが確認できた。

2. 中地形（神奈川県周辺）

250m DEM については主に「中地形」を判読することができた。「小地形」の判読のため、神奈川県周辺（東西 50 km 程度）の範囲に絞った。東経 138 度 52 分 30 秒から 139 度 52 分 30 秒、北緯 35 度 05 分から 35 度 45 分について、ETOPO 5、2、1 および 1km DEM による傾斜量図を図 8 に示す。250m DEM、50m DEM、G-DEM30 m、10m DEM、GISMAP-10 m、5m DEM による傾斜量図は図 9 から図 14 に示す。

神奈川県の地形は大きくは、関東山地や丹沢山地、箱根火山などの起伏のある東部の山岳部と、相模平野、相模野台地、多摩丘陵などがある西部の平野部に分けられる。ETOPO 5 からは、関東山地、丹沢山地、箱根火山を非常に大まかに判読できる（図 8 a）。ETOPO 2 では、蛭ヶ岳および丹沢山の北東斜面を急傾斜として判読できる（図 8 b）。また、箱根火山では明神ヶ岳東斜面は一様に連続しているために傾斜を表現し、さらにカルデラのように中央部に緩傾斜として白く抜くように表現しているが、中央火口丘まで表していない。ETOPO 1 で中央火口

丘が見えてくる。丹沢山地では蛭ヶ岳北東部や丹沢山東部、檜洞丸北東部および南西部、大山南部および北東部、塔ヶ岳南部の斜面を急傾斜としている（図 8 c）。また、大磯丘陵南西斜面や三浦半島の丘陵部も区分される。このように、ある程度大きなメッシュサイズでは、ある程度連続した斜面を持つ地形でないと、判読できない。

1km DEM では、大山、丹沢山など丹沢山地においては大きな山体が判読できる。また、丹沢山地内での相模川や道志川は、周囲より明るい色として線状に表される（図 8 d）。

250m DEM では丹沢山地や箱根火山において、山々のつながる様子が刻まれた谷とともに区分できる（図 9）。20 万分の 1 地勢図と比較したところ、山間部においては地勢図に河川として描かれているものについては、谷として判読できる。また、多摩丘陵などの丘陵地は、その端部を線状に読み取ることができる。

50m DEM では、神奈川県内の地形の様子を「小地形」のレベルまで判読することができる（図 10）。丹沢山地など山岳部では、山体を細かく刻む河川による谷や、山地を縦断する構造線が判読できる。三浦半島や大磯丘陵、多摩丘陵などの丘陵地は、その端部の起伏を判読できる。相模原台地では、段丘崖だけではなく、座間丘陵や高座

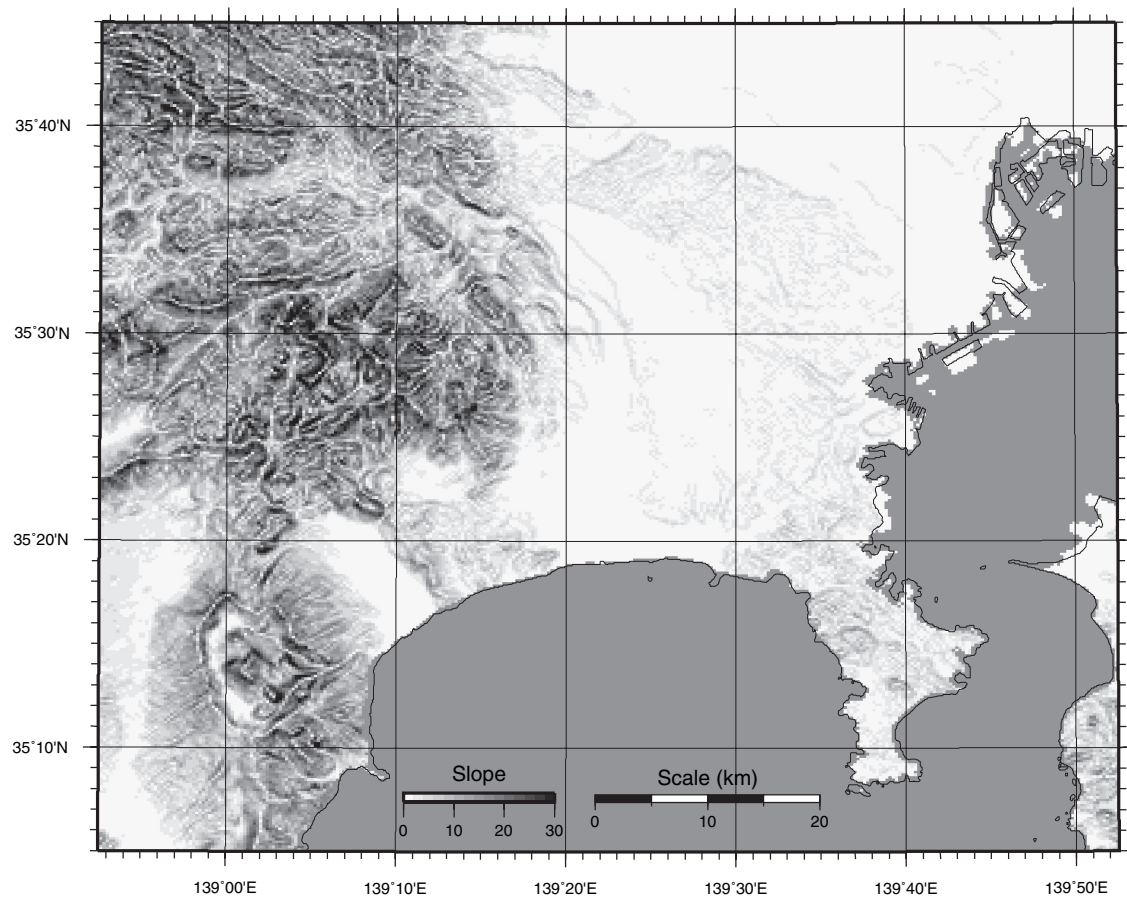


図 9. 250m DEM による神奈川県 の傾斜量図.

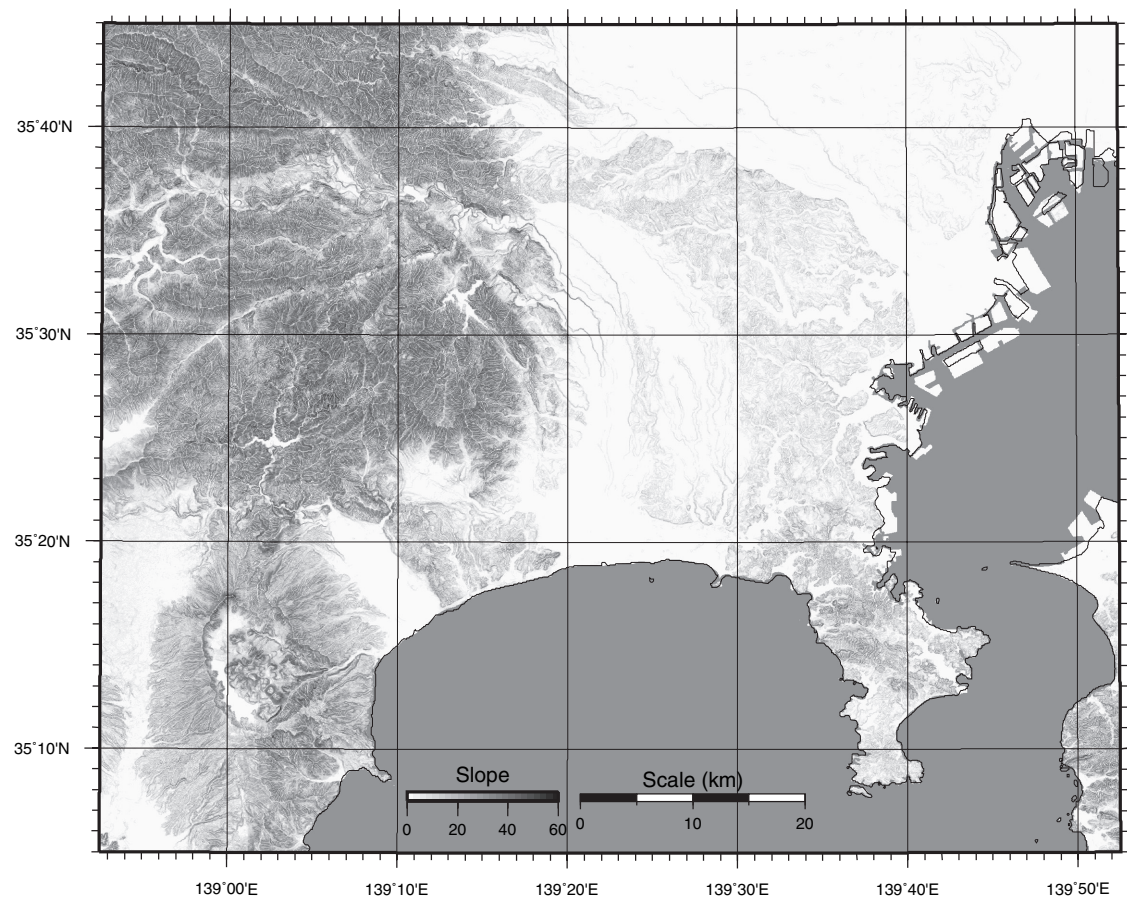


図 10. 50m DEM による神奈川県 の傾斜量図.

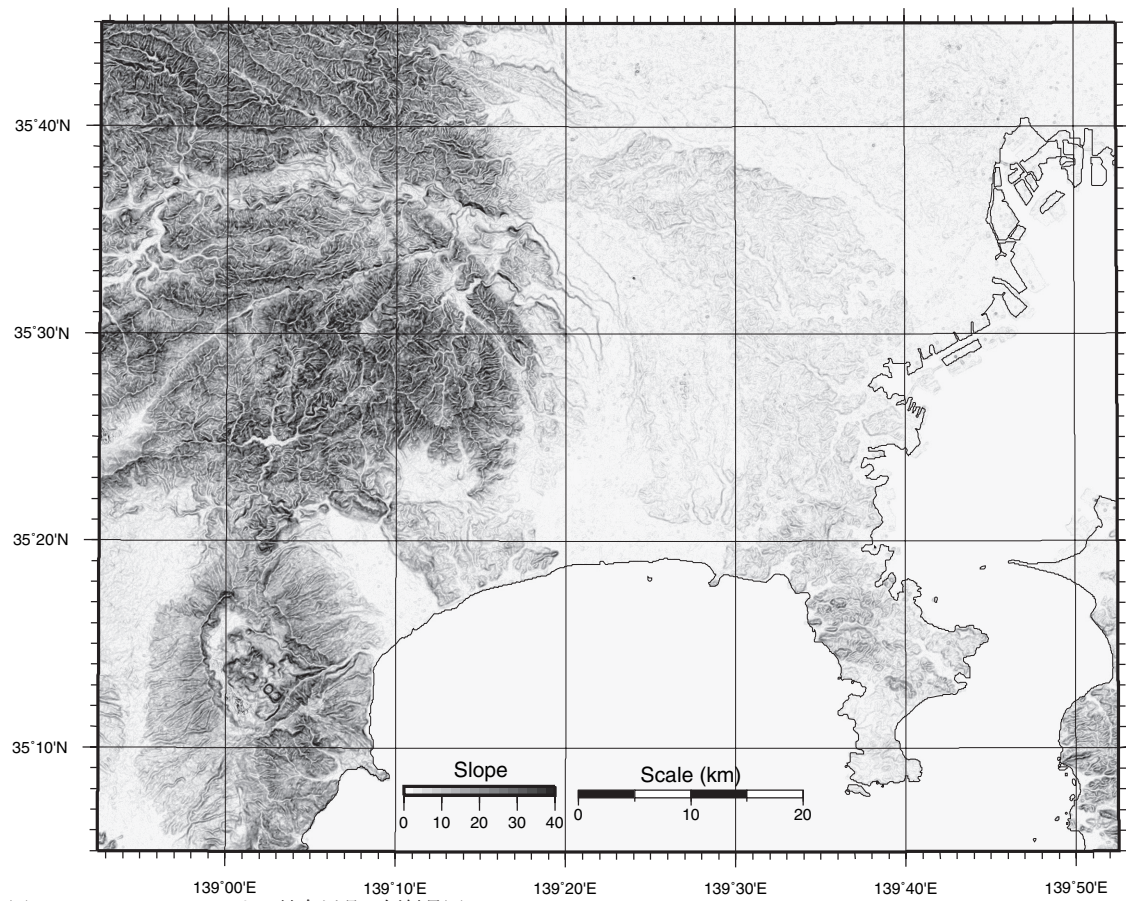


図 11. ASTER G-DEM による神奈川県傾斜量図.

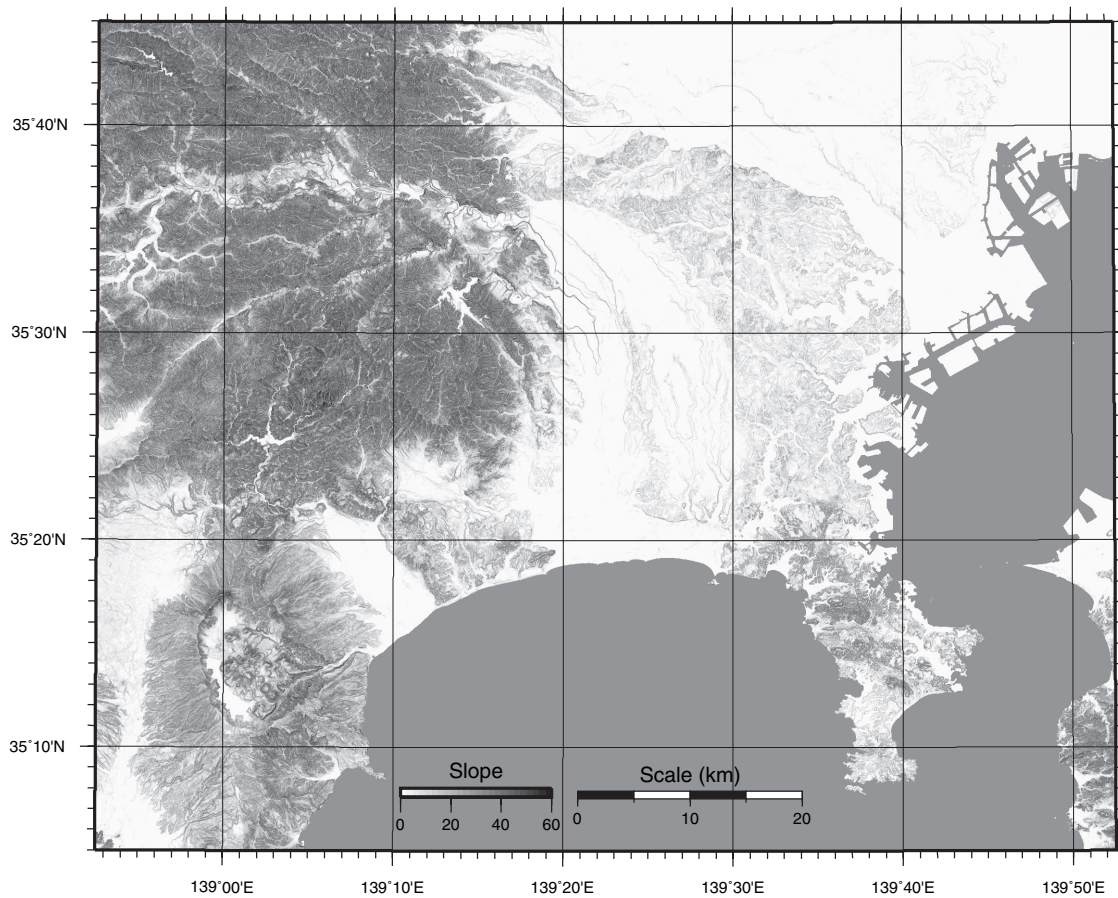


図 12. 10 m DEM による神奈川県傾斜量図.

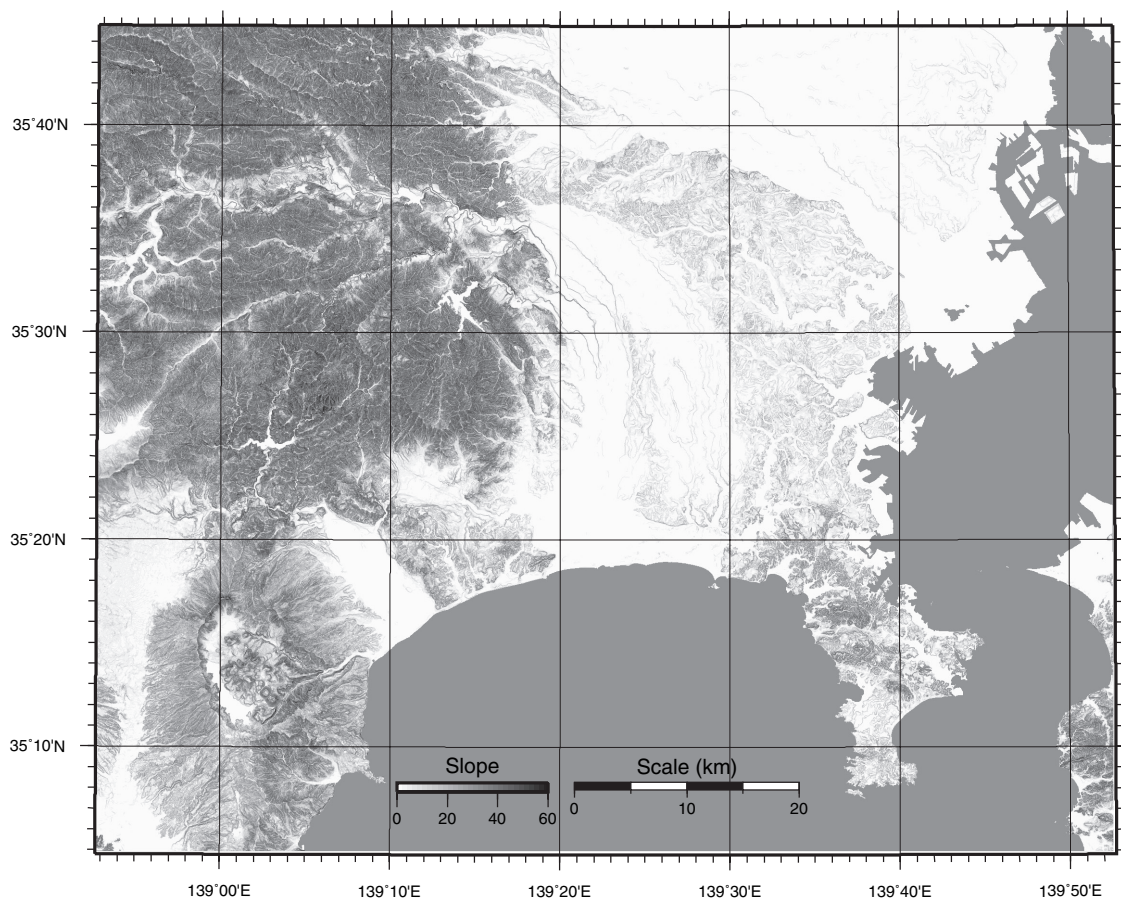


図 13. GISMAP-10 m による神奈川県の傾斜量図.

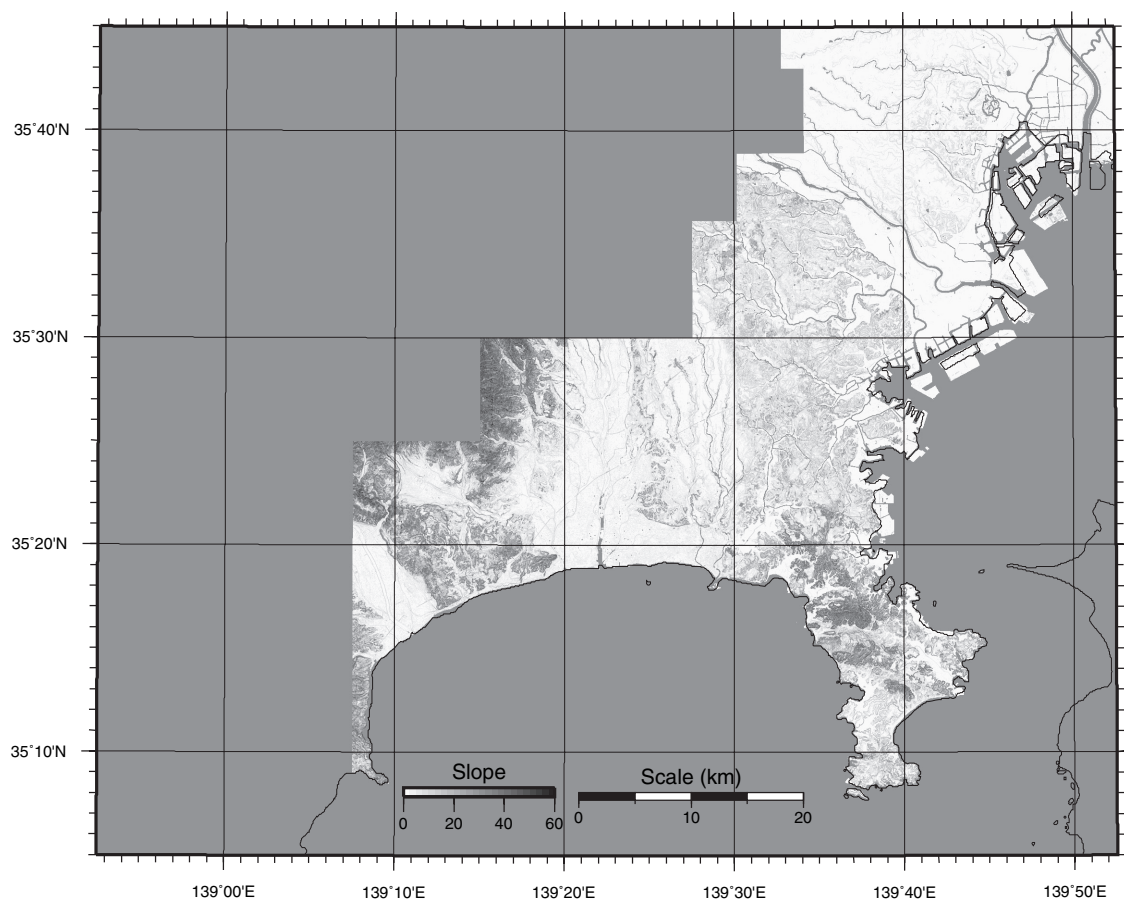


図 14. 5m DEM による神奈川県傾斜量図.

丘陵のような範囲の狭い丘陵も区分することができる。

G-DEM30 m は、データフォーマットの記述上の制限として、海面下の陸地を 0 m としているため、東京都江東区の 0 m 地帯は海水面のデータとなっている。50m DEM より解像度が高いはずだが、山地を刻む谷の幅が太く、地形の細部について 50m DEM より判読することができない (図 11)。これは、ASTER GDEM Validation Team (2009) によれば、実際の解像度は 100 から 120 m

であると推定されていることが原因である。

10m DEM は、この大きさでは 50m DEM との差がないようにも見える (図 12)。しかし、丹沢山地や三浦半島の急傾斜部分を比較すると、10m DEM のほうがより黒く見えるため、傾斜が大きいことが分かる。

GISMAP-10 m は、基本的に 10m DEM と同じである (図 13)。ただし、多摩川低地において、DEM の生成手法に起因すると考えられる海岸線の乱れなどの異常が認めら

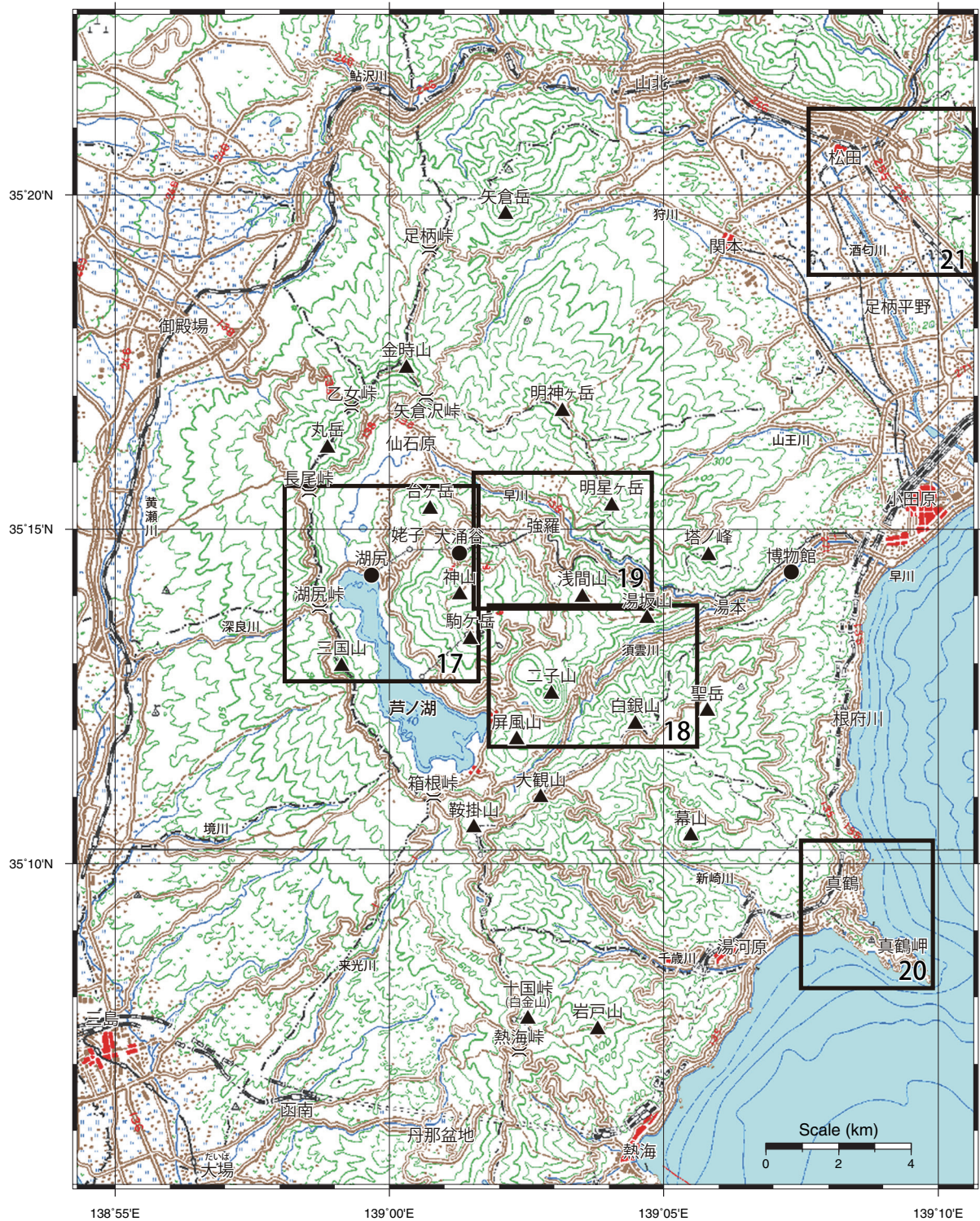


図 15. 箱根火山の地形図。

数値地図 200000 (地図画像) 東京、横須賀、甲府、静岡を合成し、地名注記を削除したものに、本文に出てくる地名を挿入。図 17 から 21 までの拡大図の位置を示す。

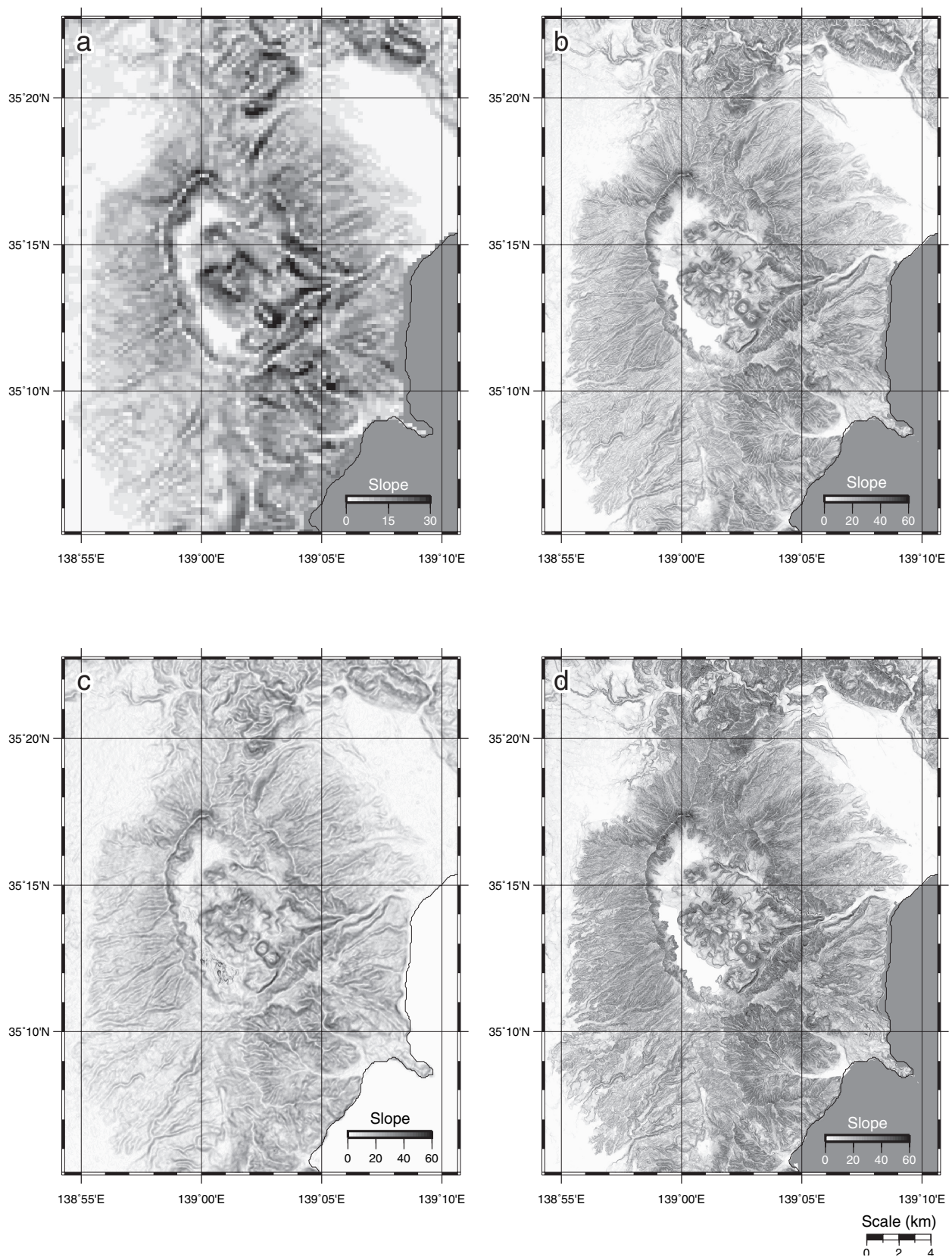


図 16 - 1. 箱根火山周辺の地形図.

a : 250 m DEM, b : 50 m DEM, c : G-DEM30 m , d : 10 m DEM

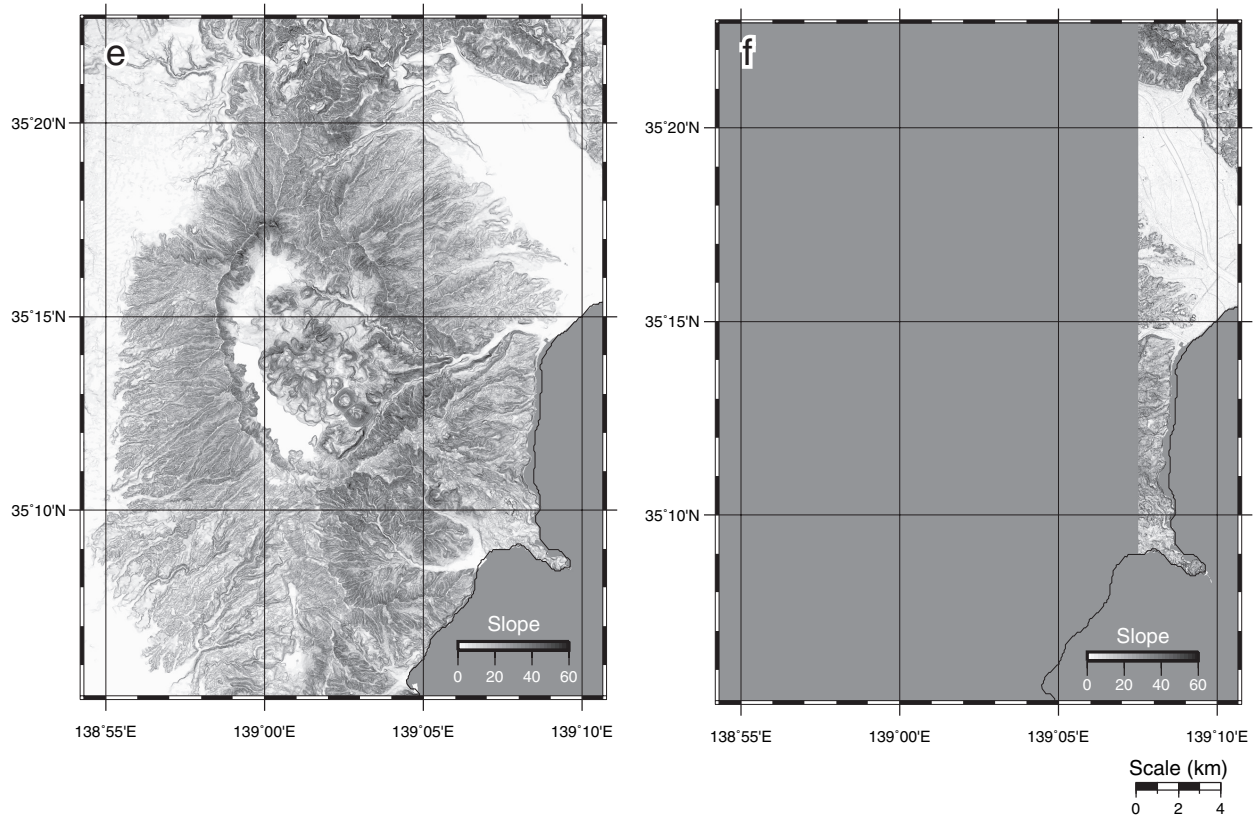


図 16 - 2. 箱根火山周辺の地形図。
e : GISMAP-10 m, f : 5m DEM

れる。また、G-DEM30 m と同じように、海面下の陸地を 0 m としているため、川崎市川崎区浜町周辺などの 0 m 地帯は海水面のデータとして扱われている。

5m DEM は、大磯丘陵以東の平野や丘陵地形について、丘陵の先端部の急傾斜を 10m DEM などよりも色濃く表現している (図 14)。箱根火山や丹沢山地など山岳部については、データが公開されていない (2009 年 12 月現在)。

3. 小地形 (箱根周辺)

神奈川県周辺について、ETOPO 5 から 250m DEM の 5 種類は、傾斜がタイルパターンのようにドットが荒い (図 8 や図 9)。50m DEM から 5m DEM ではドットの荒さは目立たず、神奈川県の中地形を読み取ることができている (図 10 から図 14)。しかし、10m DEM から 5m DEM に関しては、細部の表現がつぶれている (図 12 から図 14)。そこで 50m DEM より高解像度の DEM が、小地形についてどこまで表現できるかについて、範囲を狭めて箱根火山周辺で行う。東経 138 度 54 分 30 秒から 139 度 10 分 50 秒、北緯 35 度 05 分から 35 度 22 分 30 秒の範囲について 250m DEM、50m DEM、10m DEM、GISMAP-10 m、5m DEM による傾斜量図を図 16 にまとめた。

箱根火山については、新井田 (2008) にて地球観測衛星と GISMAP-10 m を用いた地形判読を行っている。今回は、そのときの判読結果との比較を行う。なお、火山地形の表現において溶岩など噴出物名は、日本地質学会国立公園地質リーフレット編集委員会 (2007) に基づく。箱根の概略図を図 17 に示す。

250m DEM では、全体にのっぺりとした印象になる (図 16 a)。カルデラの形はカルデラ壁の急傾斜によって判

読できるが、丸山南東斜面や三国山東斜面の水鳥の足状の地形は、細部を表現しない (図 17 a の丸印部)。中央火口丘では神山・駒ヶ岳がほぼ一体化している (図 17 b)。早川や須雲川の谷は、急傾斜にはさまれた緩傾斜の部分として判読できる程度で、斜面の様子は判読できない (図 18 b)。同じように、湯河原での大規模な崩壊地形はあまりよく見えない。少なくとも約 1 km 間隔の谷しか判読できないことが分かった。

50m DEM では山体に刻まれた谷を 250m DEM より詳細に表現している (図 16 b)。カルデラ壁の水鳥の足状地形も判読できる (図 17 c)。外輪山外側の浸食としては、湯河原や狩川上流には細かい谷が刻まれていることが判読できる。また、中央火口丘においては、中央が白く周辺部が黒くなるドーム地形の二子山 (図 18 c) や、神山や駒ヶ岳からの流れた溶岩の舌状の地形、神山から北西方向に降りている崩壊地形などが判読できる (図 17 c)。湖尻溶岩の先端部は水平 150 m の区間で 80 m ほど下っている。5 万分の 1 地形図に描かれている河川は判読できる。

G-DEM30 m では、50m DEM と比較して地形の輪郭がぼやけているように見える (図 16 c、図 16 b)。早雲山溶岩グループの二ノ平付近への流出部分は、50m DEM と比較すると判読しにくい (図 19 c、図 19 d)。また、神奈川県全体では分からないが (図 16 c)、足柄平野に幅 200 から 300 m 程度の丘のようなものが数多くみられる (図 21 j 長円部)。この地形は、ほかの解像度の DEM からは読み取ることができない。

10m DEM では、かなり細かく地形が判読できる (図

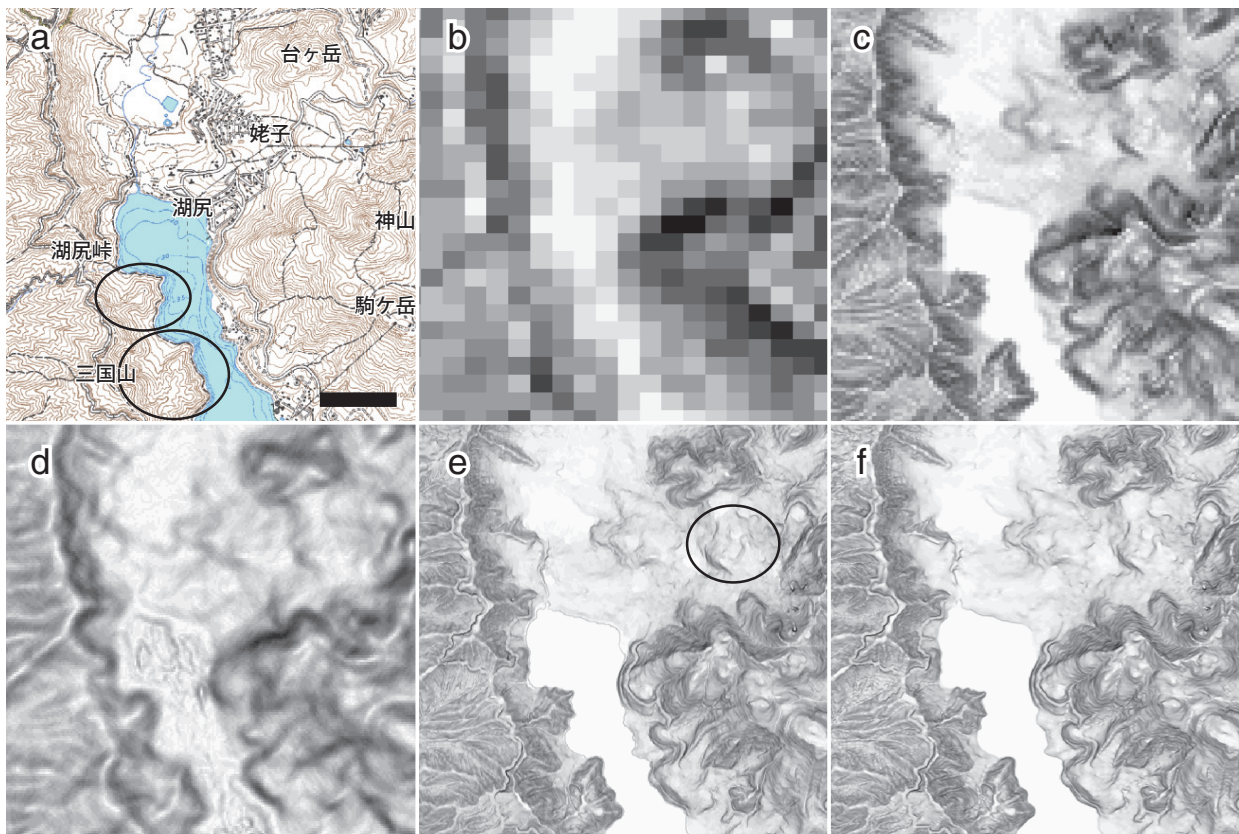


図 17. DEM のメッシュサイズの違いによる地形表現 (湖尻周辺).

a : 地形図 (丸印は本文参照), b : 250m DEM, c : 50m DEM, d : G-DEM30 m, e : 10m DEM (丸印は本文参照), f : GISMAP-10 m バーは 1 km..

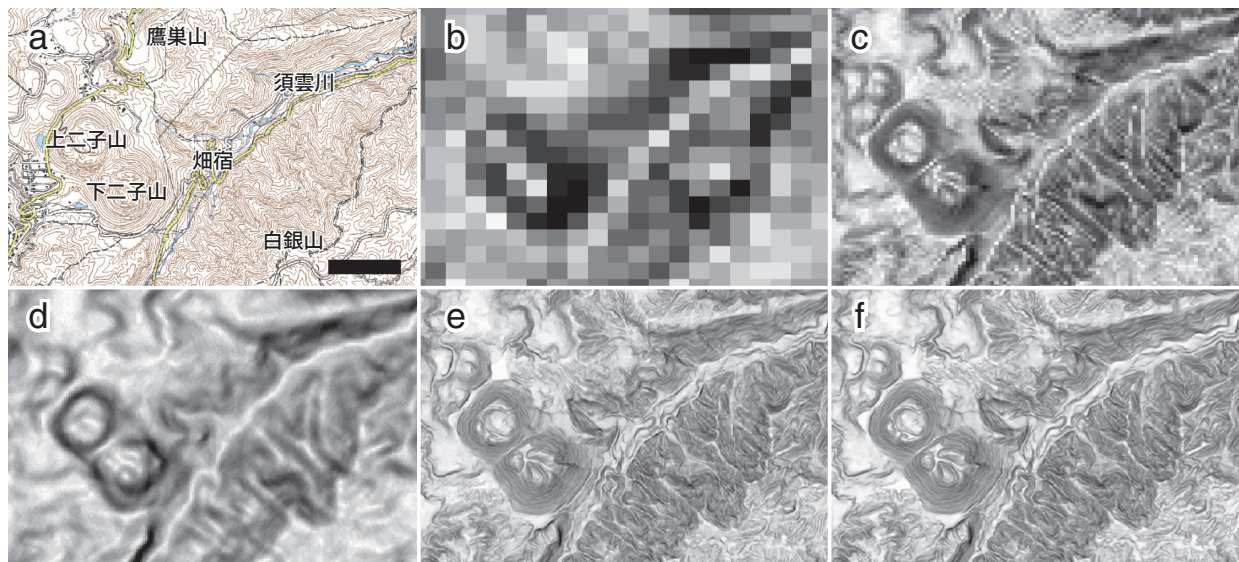


図 18. DEM のメッシュサイズの違いによる地形表現 (二子山周辺).

a : 地形図, b : 250m DEM, c : 50m DEM, d : G-DEM30 m, e : 10m DEM, f : GISMAP-10 m バーは 1 km..

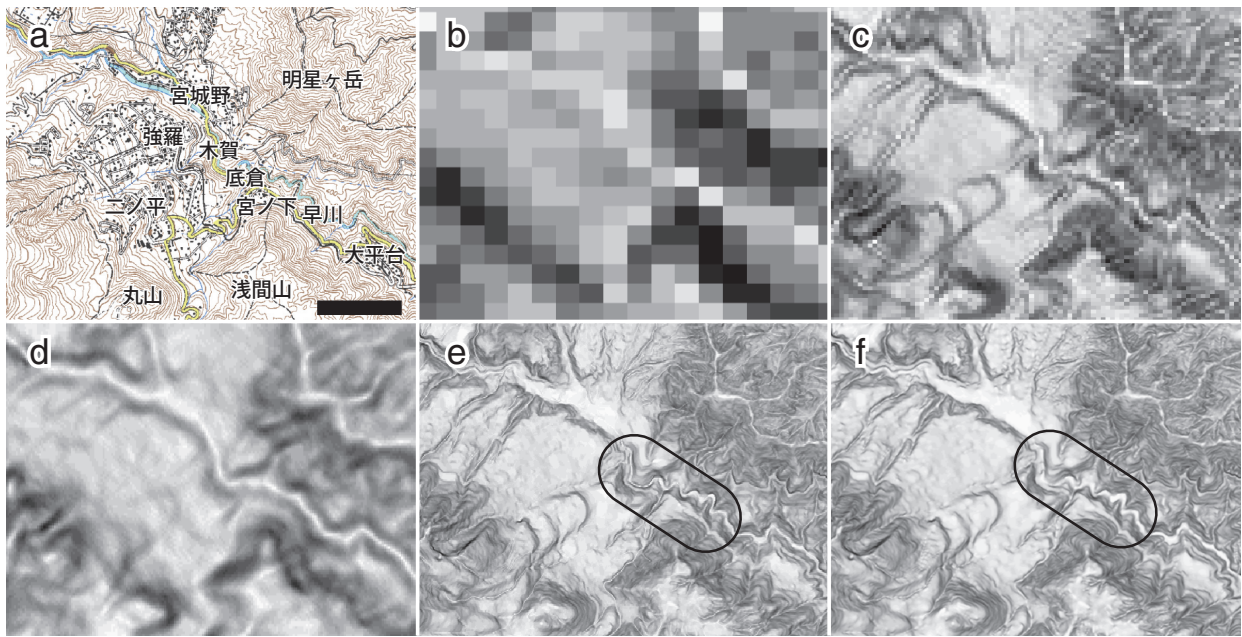


図 19. DEM のメッシュサイズの違いによる地形表現 (強羅周辺).

a : 地形図, b : 250m DEM, c : 50m DEM, d : G-DEM30 m, e : 10m DEM, f : GISMAP-10 m (長円部は本文参照) パーは 1 km.

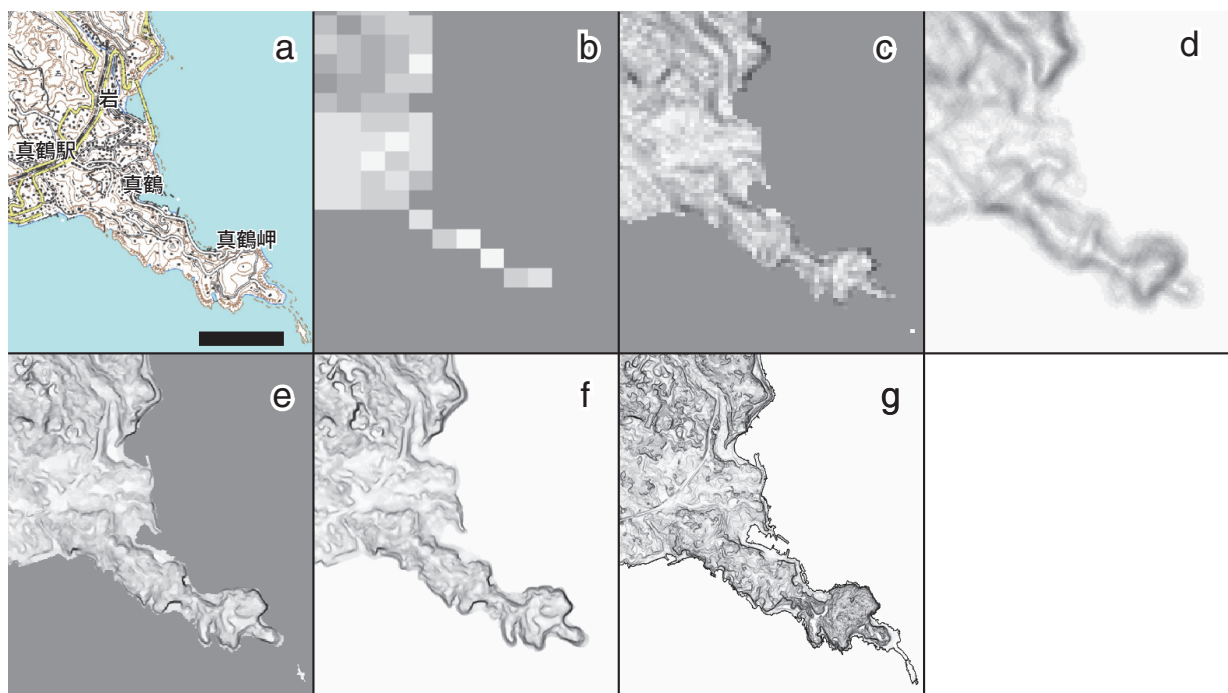


図 20. DEM のメッシュサイズの違いによる地形表現 (真鶴周辺).

a : 地形図, b : 250m DEM, c : 50m DEM, d : G-DEM30 m, e : GISMAP-10 m, f : GISMAP-10m, g : 5m DEM パーは 1 km.

16 d)。湖尻周辺の図では、三国山の東斜面の水鳥の足状地形の箇所に 700 m のなかに 3 本の谷があることが判読できる (図 17 e)。底倉から宮ノ下付近の早川は 250 m 周期、70 m の振幅で蛇行していることが判読できる (図 19 e、f の長円部)。さらに宮城野から大平台にかけて小さい段丘面が判読できる (図 19 e)。溶岩の流出地形のなかに溶岩堤防が判読できる (図 17 e 右下)。また、冠ヶ岳崩壊地形の中で、姥子周辺に階段状の地形が判読できる (図 17 e 丸印部)。2 万 5 千分の 1 地形図と比較すると、描かれている水系は判読できた。

GISMAP-10 m は、10m DEM とメッシュサイズが同じであるため、この作画範囲では判読結果も同じように思える。しかし、細部を比較すると、木賀付近の早川の谷など段丘面のある V 字型の溪谷においては幅 40 m 程度の平坦面 (図 19 長円部左側) を GISMAP-10 m は表現していない (図 19 f) ことに対し、10m DEM は表現している (図 19 e) ため、差が見られる部分があることが分かった。

5 m DEM には、小田原市穴部や久野から板橋にかけては、細かい谷が刻まれている (図 16 f)。JR 東海道新

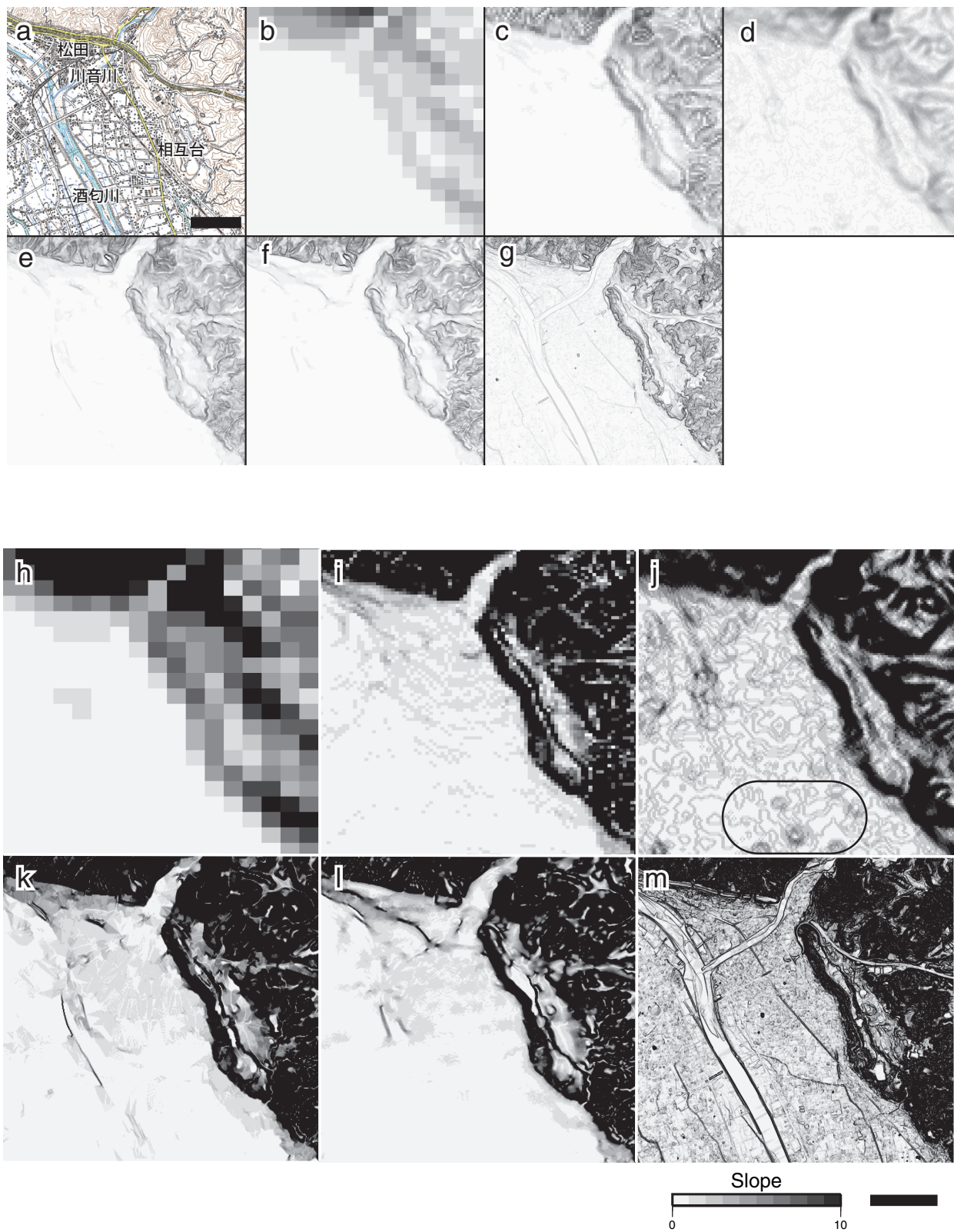


図 21. DEM のメッシュサイズの違いによる地形表現 (松田周辺).

a : 地形図, b : 250m DEM, c : 50m DEM, d : G-DEM30 m, e : GISMAP-10 m, f : GISMAP-10m, g : 5m DEM, (これ以下は傾斜を 10 度まで) h : 250m DEM, i : 50m DEM, j : G-DEM30 m (長円部は本文参照), k : 10m DEM, l : GISMAP-10m, m : 5m DEM パーは 1 km.

幹線など鉄道や道路の盛土や掘割など人工物に起因する地形も判読できる。早川周辺から真鶴岬までは舌状の溶岩地形が多く見られる。しかし、前述のとおり箱根火山本体の標高データはない。

真鶴周辺では、小松石などと呼ばれる石材を採石している様子や、JR 東海道線や真鶴道路などの切通しや

土盛りなど人工的な地形も判読できる（図 20 g）。また、真鶴岬先端の高まりの中に、小さい陥没地形がいくつか判読できる。松田付近では、JR 御殿場線や東名高速の路盤や、酒匂川や川音川の堤防が判読できる（図 21g）。また、川音川による扇状地的な微地形が見られるが、5 m DEM では、人工物などによる地表面の変化を細かく

表 3. 地形とメッシュサイズとの関係。

地形 DEM名	火山地形								変動地形		低地		
	カルデラ		溶岩円頂丘	溶岩流				崩落		断層		平野	扇状地
	カルデラ壁	外輪山斜面		溶岩堤防	溶岩しわ	溶岩末端崖	崩落崖	崩落堆	断層崖	断層角盆地			
			上二子山 下二子山 等	神山 駒ヶ岳 周辺	陣笠山溶岩			神山北西斜面		丹那断層 和留沢断層 国府津- 松田断層	丹那盆地	足柄平野	川音川合流
250m DEM	線状に表現		輪郭を表現										
50m DEM	半島状の突起 250m間隔 程度の侵食を 表現	250m間隔 程度の侵食を 表現	輪郭を表現 頂部に凹凸	輪郭を表現			輪郭を表現	輪郭を表現	輪郭で表現	輪郭を表現			
ASTER G-DEM	半島状の突起 500m間隔 程度の侵食を 表現	500m間隔 程度の侵食を 表現	輪郭を表現 頂部に凹凸	輪郭を表現			輪郭を表現	輪郭を表現	輪郭で表現	輪郭を表現			
10m DEM	半島状の突起 125m間隔 程度の侵食を 表現	125m間隔 程度の侵食を 表現	輪郭を表現 頂部に凹凸	輪郭を表現	輪郭を表現	輪郭を表現	輪郭を表現	輪郭を表現	輪郭で表現 段差を表現	輪郭を表現	輪郭を表現		扇型に 10度以下の 傾斜を表現
GISMAP Terrain	半島状の突起 125m間隔 程度の侵食を 表現	125m間隔 程度の侵食を 表現	輪郭を表現 頂部に凹凸	輪郭を表現	輪郭を表現	輪郭を表現	輪郭を表現	輪郭を表現	輪郭で表現 段差を表現	輪郭を表現	輪郭を表現		扇型に 10度以下の 傾斜を表現
5m DEM	範囲内に 存在せず	範囲内に 存在せず	範囲内に 存在せず	範囲内に 存在せず	範囲内に 存在せず	範囲内に 存在せず	範囲内に 存在せず	範囲内に 存在せず	範囲内に 存在せず	輪郭を 25m間隔 程度の 侵食まで表現	範囲内に 存在せず	小河川を 表現	傾斜で 表現できず

表 4. メッシュサイズごとに判読された地形（まとめ）。

DEM名	山地・山脈	河川	台地・丘陵	平野・盆地	その他	判読できる 水平スケール
ETOPO5	大きな塊で見え、 単体の山は区分されない	区別されない	山との境は区分されるが、 それ以上細かく区分されない			50km以上
ETOPO2	急傾斜の山だけ区分される (箱根ではカルデラが見える)	山間部の大河川のみ	山との境は区分されるが、 それ以上細かく区分されない			20km以上
ETOPO1	突出した山は区別される (箱根では中央火口丘が見える)	山間部の大河川のみ	連続した急傾斜で区切られたもののみ			10km以上
1km DEM	孤立した山、大きく深い谷で 区切られた山が区分される	山間部の大河川のみ	連続した急傾斜で区切られたもののみ		構造線のつながりは判読できる	5km以上
250m DEM	20万分の1地勢図に描かれる 山の型に区分される (箱根ではカルデラ壁が線状に)	山間部の河川のみ	段丘崖などの斜面	段丘崖など 斜面で区分されたエリア	大規模な構造線・活断層の位置が 推定できる	1km以上
50m DEM	5万分の1地形図に描かれる 山の形に区分される	山地・丘陵地を流れる河川	段丘崖、浅い谷などの 斜面	大きい河川の流路	構造線・活断層の位置が 推定できる	500m以上
ASTER G-DEM	5万分の1地形図に描かれる 山の形に区分される	山地・丘陵地を流れる河川	段丘崖、浅い谷などの 斜面	大きい河川の流路	大規模な構造線・活断層の位置が 推定できる	500m以上
10m DEM	2万5千分の1地形図における 山や谷の形を詳細に描く	山地・丘陵地を流れる河川	段丘崖、浅い谷などの 斜面を詳細に描く	河川の流路、扇状地	大規模な構造線・活断層の位置が 推定できる	50m以上
GiSMAP Terrain	2万5千分の1地形図における 山や谷の形を詳細に描く	山地・丘陵地を流れる河川	段丘崖、浅い谷などの 斜面を詳細に描く	河川の流路、扇状地	大規模な構造線・活断層の位置が 推定できる	50m以上
5m DEM	2万5千分の1地形図における 山や谷の形を極めて詳細に描く	河川一般	段丘崖、浅い谷などの 斜面を極めて詳細に描く	河川の流路	構造線・活断層の位置が推定できる 人工的な地形改変が判読できる	30m以上

表現し過ぎるため、判読しにくい。このような微地形では、傾斜の変化もわずかであるため、急傾斜地までを含む濃淡の変化では、丘陵地帯しか判読できない（図 21 b から g）。そこで緩傾斜地用に濃淡の変化を 10 度までとした（図 21 f から m）。50m DEM や 10m DEM のほうが、北東から南西にかけての様な傾斜をとらえている（図 21 i, k, l）。特に 10m DEM（図 21k）では、扇の骨状に傾斜の違いが判読できるが、これは旧流路を示している可能性がある。しかし、GISMAP-10 m（図 21 l）からは判読できない。

箱根周辺について判読してきた結果について、地形ごとに整理したものを表 3 にまとめる。

考察

日本列島の特徴を、解像度の異なる DEM による傾斜量図の判読結果として以下にまとめる。ETOPO 5 では傾斜量の差について、東北日本においては、岡山（1953）における北上阿武隈線や直江津八王子線などの地形構造が判読できる。しかし、西南日本ではあまり読み取ることができない。これは、西南日本における傾斜の変化が、約 9 km というメッシュ間隔ではあまり大きくないことによる。ETOPO 1 より高解像度であれば、貝塚（1988）が大地形区界として考えた千島弧、東北日本弧、伊豆・小笠原弧、西南日本弧、琉球弧といった島の境界線を判読することができる。これは、島弧の境界と考えられる地形が 2 km より短い周期で変化しているためであろう。

日本列島から本州中央部、神奈川、箱根とエリアを狭めて行った地形判読から分かったことを、表 4 にまとめる。低解像度の DEM は、大きい地形を判読することに適し、高解像度になるほど、浸食による細かい谷の発達や、構造線や断層のように傾斜が急変する線状の地形も判読できる。地形の判読は、その地形の水平および比高などのスケールに応じ、判読しやすいメッシュサイズが存在することが分かった。

平野部は山岳部に比べ傾斜の変化が小さい。そのため、傾斜量図の色表現としての白黒の濃淡のパターンは、どのような地形を判読するかによって、適切に変える必要がある。特に平野部において、微妙な傾斜変化をとらえる場合には、図 21 h から m に示すように傾斜の変化幅を狭くするとよい。

高解像度になるということは、地形を描く密度が高くなることである。5m DEM を用いて小さい出力サイズに広範囲を描いた場合、図 14 のように細部がつぶれ、地形判読が行えない。しかし、図 20 g のように適正と思われるサイズで出力した場合、その表現力は高い。数値地図（地図画像）に収録されている地形図画像の解像度（254DPI：1 ピクセル当たり 0.1 mm）を参考とすると、経度 1 度について ETOPO 5 では 1.2 mm、ETOPO 2 では 3 mm、ETOPO 1 では 6 mm、1 km DEM では 8 mm、250m DEM では 32 mm、50m DEM では 16 cm、G-DEM30 m では 36 cm、10m DEM では 90 cm、GISMAP-10 m では 80 cm、5m DEM では 180 cm となる。本論文において経度で 23 度にわたる日本列島全体を示す図は、1km DEM に

よるもの（図 4）が最適である。他の図は、低解像度 DEM ではタイルパターンが目立つほど過大であり、高解像度 DEM では、地形表現がつぶれてしまうほど過小である。最も高解像度である 5m DEM では、少なくとも実距離 1 km あたり 12 mm 程度の大きさが必要であろう（図 20 g）。

G-DEM30 m に関しては、他の DEM を生成方法が異なるが、その影響は平坦部へのノイズ（たとえば、図 21 j の長円部）や 50m DEM より地形の表現力が劣るという点に表れている。しかし、測量更新頻度においては、航空機によるレーダー測量よりも衛星画像からの DEM 生成のほうが迅速さについて期待できるため、有用であると考えられる。

傾斜量は標高値から計算されているが相対的な値であり、絶対的な値、すなわち標高値と直接的な関係を示さない。そのため、新井田（2008）で判読していた箱根火山中央部を東西に横断する低地部の存在は、傾斜量図からは読み取ることができないことが問題点である。

なお、図で使用した地形図は、数値地図 200000（地図画像）の東京、横須賀、甲府、静岡および数値地図 50000（地図画像）の秦野、小田原、御殿場、熱海である。また、ASTER GDEM の原データは、経済産業省及び NASA に帰属している。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、貴重な意見をいただいた神奈川県立生命の星・地球博物館齋藤靖二氏、平田大二氏、瀬能 宏氏にお礼申し上げる。

引用文献

- ASTER GDEM Validation Team, 2009. ASTER Global DEM Validation. Summary Report. Online. Available from internet: http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/image/ASTERGDEM_ValidationSummaryReport_Ver1.pdf (downloaded on 2010-01-19).
- 貝塚 爽平, 1988. 日本の大地形区界. 月刊地球, **10**: 99-101.
- 神谷 泉・田中耕平・長谷川裕之・黒木貴一・早田靖博・小田切聡子・政春尋志, 1999. 傾斜量図の作成とその応用. 情報地質, **10**(2): 76-79.
- 神谷 泉・黒木貴一・田中耕平, 2000. 傾斜量図を用いた地形・地質の判読. 情報地質, **11**(1): 11-24.
- 小竹美子, 1989. 地形データから活断層を抽出する試み. 活断層研究, **6**: 3-8.
- 新井田秀一, 2008. 地球観測衛星画像と数値標高モデル DEM による箱根火山の地形判読. 神奈川県博物館調査研究報告 (自然科学), **13**: 13-24.
- 日本地質学会国立公園地質リーフレット編集委員会, 2007. 箱根火山. 国立公園地質リーフレット 1. 日本地質学会.
- 野上道男, 1985. 数値地形分析のための処理システム. 地形, **6**(3): 245-264.
- 野上道男, 1995. 細密 DEM の紹介と流域地形計測. 地理学評論, **68A**(7): 465-474.
- 太田岳洋, 2006. 数値地図 50 m メッシュ (標高) による三浦半島における斜面崩壊地の地形的特徴に関する検討. 応用地質, **46**(6): 331-340.
- 太田岳洋・八戸昭一, 2006. 数値標高モデルによる地形計測の現状と応用例. 応用地質, **46**(6): 347-360.
- 岡山俊男, 1953. 日本の地形構造. 駿台史学, **3**: 28-38. (岡山俊男,

1974. 日本の山地地形と氷河問題小史. pp30-42. 古今書院, 東京. に再録)
- 佐々木寿・向山 栄, 2007. 地形判読を支援する ELSAMAP の開発. 先端測量技術, **93**: 8-16.
- 関口辰夫・岩橋純子, 1992. 雲仙岳の地形解析と火山災害の予測. 国土地理院時報, (75):32-36.
- 鈴木隆介, 1997. 読図の基礎. 建設技術者のための地形図読図入門, 第 1 巻. pp1-200. 古今書院, 東京.
- 高橋昭子・小口 高・杉盛啓明, 2003. ラスター型 DEM の解像度と地形表現力. 地理学評論, **76**(11): 800-813.
- 宇根 寛・小室勝也, 2000. 詳細地形データによる変動地形の表現. 月刊地球号外, **28**:22-29.
- 吉川虎雄・杉村 新・貝塚爽平・太田洋子・坂口 豊, 1973. 日本の地形の概観. 新編日本地形論, pp.35-52. 東京大学出版会, 東京.
- 吉山 昭, 1990. DEM を用いた流域の地形量の計測. 地学雑誌, **99**(6): 136-142.

摘 要

新井田秀一, 2010. 解像力の異なる数値標高モデルを用いた傾斜量図による地形表現. 神奈川県立博物館研究報告 (自然科学), (39):1-19. (Niida, S., 2010. Landform analysis on the Digital Elevation Model using low- to high-resolution Remote Sensing Data. *Bull. Kanagawa prefect. Mus.(Nat. Sci.)*, (39):1-19.)

いろいろな解像度で生成されたデジタル標高モデル (Digital Elevation Model ; DEM) による地形解析として、傾斜量図から地形を判読した。その結果、低解像度 DEM では脊梁山脈や構造線のような大地形を判読できた。高解像度 DEM では断層のようなリニアメントや段丘や谷などの侵食のような小地形や微地形を判読できた。

(受付 2009 年 12 月 2 日 ; 受理 2010 年 1 月 27 日)