

2004年新潟県中越地震における最大地動分布評価（更新版）について

2007年5月

末富岩雄・石田栄介・福島康宏・磯山龍二
日本技術開発株式会社

澤田 純男
京都大学防災研究所

1. 概要

文部科学省 科学技術振興調整費「活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案（研究代表者：小長井 一男）」では、2004年の新潟県中越地震の詳細な被害実態と現象を科学的な分析を加えてデータベース化し、活褶曲地帯の地震被害に共通する教訓を反映した提案を盛り込んだ公開財産とすることを進めている。その中の課題2「活褶曲地帯の地震動に関する研究」では、地震データの整理、地盤データの整理等を行い、地震動の詳細分布の推定を行っている。

平成17年度に約2,700本のボーリングデータをデータベース化し、多くの地震動観測値を利用して、250mメッシュでの最大地動分布の推定を行った。地震動と被害の関係を個別に検討するには地震動の波形評価（少なくともスペクトル評価）が必要となるが、まずは被害分布と最大地動分布の比較が重要となる。そこで、最大加速度、最大速度、計測震度、SI値について評価した分布を、2006年9月に公開した（第一版、この時は主著者の所属は防災科学技術研究所である）。

平成18年度にさらなるボーリングデータの収集を行ったことにより、これまでデータが乏しかった地域の精度を向上できたこと、観測値を一部修正したこと、から再計算を行った。今回は、その更新版を公開するものである。最終的には、プロジェクトのアーカイブスとして、他の成果と共に整理する予定である。

2. ファイルの内容

1行目にタグ名をつけたcsv形式ファイルである。それぞれのタグ列のデータの内容は下記の表の通りである。データ数は、123,488である（第一版と同じである）。

表1 データ項目

タグ名	内容
X	250mメッシュ中心の東経（度）
Y	250mメッシュ中心の北緯（度）
meshCode	250mメッシュ（地域基準メッシュ）のコード
pga	最大加速度(cm/s ²)
pgv	最大速度(cm/s)
ij	計測震度
si	SI値(cm/s)

3. 地震動分布の評価法

ここでは、図1に示す手順で地震動分布の評価を行っている。今回工夫した点は、250mメッシュの地形分類による深さ30mまでの平均S波速度（AVS30）とボーリングデータから得られるAVS30を統合し、250mメッシュのAVS30を構築していることである。ボーリングデータは当該地点での計測データであるので当然、地形分類より信頼性は高いものの、データが乏しいエリアをどうするかという課題を解決する方法である。

手法の詳細は、下記文献を参照されたい。

末富岩雄、石田栄介、福島康宏、磯山龍二、澤田純男：地形分類とボーリングデータの統合処理による地盤増幅度評価と2004年新潟県中越地震における地震動分布の推定、地震工学会論文集、第7巻、第3号、pp.1-12

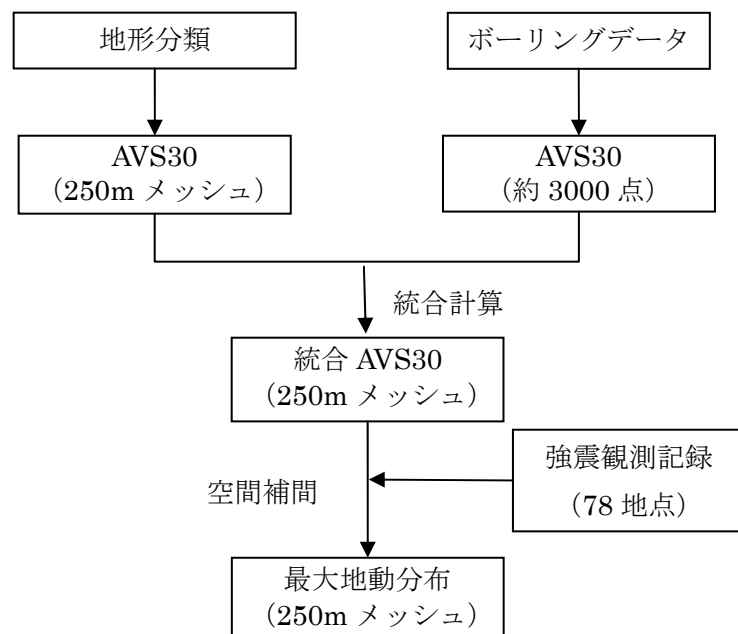


図1 地震動分布評価フロー

3.1 ボーリングデータの収集

平成17年度は、以下のボーリングデータを関係機関の協力を得て収集し、約2,700本のボーリングデータをデジタル化した。旧長岡市内では首都圏並にボーリングデータを収集できている。

- ・国土交通省北陸地方整備局関連
 - － 国土交通省の地質情報伝達システム(TRABIS)に含まれるボーリングデータのうち、北陸地方整備局管内のボーリングデータ(約950本)を借用し、これをデータベースに取り込んだ。
 - － 地震後実施された妙見堰でのボーリング柱状図を借用し、デジタル化した。
- ・防災科学技術研究所関連
 - － ウェブサイトで公開されているK-NET¹⁾、KiK-net²⁾強震観測点のボーリングデータをデータベースに取り込んだ。
 - － 地震後調査が実施された川口町震度計、小千谷(K-NET、JMA、その他)のボーリングデータ³⁾の提供を受け、これをデータベースに取り込んだ。
- ・土木学会関連
 - － 東日本旅客鉄道(株)、(旧)日本道路公団観測点付近のボーリング柱状図は土木学会地震工学委員会のウェブサイトで公開されており⁴⁾、これをデジタル化した。
 - － 地震後、土木学会の意を受けて日本技術開発が調査した堀之内町震度計、長岡国道事務所、長岡市悠久町、川口町2箇所⁵⁾のボーリングデータをデータベースに取り込んだ。
- ・長岡市関連
 - － 長岡市各課所有のボーリング柱状図(約750本)の提供を受け、デジタル化した。
- ・その他
 - － 「新潟県平野部の地盤図集」⁶⁾の記載のボーリング柱状図のうち、見附市～小出町の約850本をデジタル化した。
 - － 「新潟県地盤図」⁷⁾のうち、震源域の地質断面図に記載されているミニ柱状図を約30本デジタル化した。

平成18年度に、プロジェクト事務局及び長岡科学技術大学と連携して地盤関連資料の追加調査を行い、見附市、小千谷市、長岡市(旧三島町・旧越路町・旧小国町・旧山古志村)から資料の提供を受けることができた。以下の通り、約500本を追加することができた。

- ・見附市
 - － 見附市所有のボーリング柱状図109本の提供を受け、デジタル化した。ほとんどが学校など公共施設のボーリングである。なお、全てのボーリングは地震前に調査されたものである。
- ・小千谷市
 - － 小千谷市建設課およびガス水道局所有のボーリング柱状図106本の提供を受け、デジタル化した。学校など公共施設のボーリングが大半を占めている。なお、地震後に調査されたボーリングが2本含まれている。
- ・長岡市三島支所(旧三島町)
 - － 長岡市三島支所(旧三島町)所有のボーリング柱状図149本の提供を受け、デジタル化した。大半が下水道関連のボーリングであり、一部公共施設のボーリングが含まれる。なお、全てのボ

ーリングは地震前に調査されている。

- ・長岡市越路支所(旧越路町)

- ー 長岡市三島支所(旧越路町)所有のボーリング柱状図64本の提供を受け、デジタル化した。下水道関連のボーリングが多く、その他は公共施設のボーリングである。なお、地震後に調査されたボーリングが5本含まれている。

- ・長岡市小国支所(旧小国町)

- ー 長岡市三島支所(旧小国町)所有のボーリング柱状図27本の提供を受け、デジタル化した。公共施設のボーリングおよび廃棄物処理施設のボーリングなどである。なお、地震後に調査されたボーリングが7本含まれている。

- ・長岡市山古志支所(旧山古志村)

- ー 長岡市山古志支所(旧山古志村)所有のボーリング柱状図39本の提供を受け、デジタル化した。道路関係のボーリングがほとんどで、公共施設のボーリングが一部含まれる。なお、全てのボーリングは地震後に調査されており、地震前のボーリングは含まれていない。

AVS30を評価する際、整備したほとんどのボーリングデータは標準貫入試験結果のみであるので、各層のS波速度は各層の平均N値と土質種別とから道路橋示方書⁸⁾の方法により計算している。また、多くのボーリングデータでは深さ30mに到達していないので、最深部以下ではN値50として評価している。

3.2 地形分類

若松・松岡ら⁹⁾が提案している全国で統一的な地形分類基準を用いることとし、若松・松岡・坂倉¹⁰⁾が、新潟県について作成した250mメッシュマップを利用する。そして、松岡・若松ら¹¹⁾の地形分類と深さ30mまでの平均S波速度の関係を用いて、AVS30データを作成する。

$$\log AVS30 = a + b \log E_v + c \log S_p + d \log D_m \quad (1)$$

ここで、 a, b, c, d : 回帰係数、 E_v : 標高、 S_p : 傾斜 (正接の1000倍)、 D_m : 先第三系・第三系の山地・丘陵からの距離(km)、である。

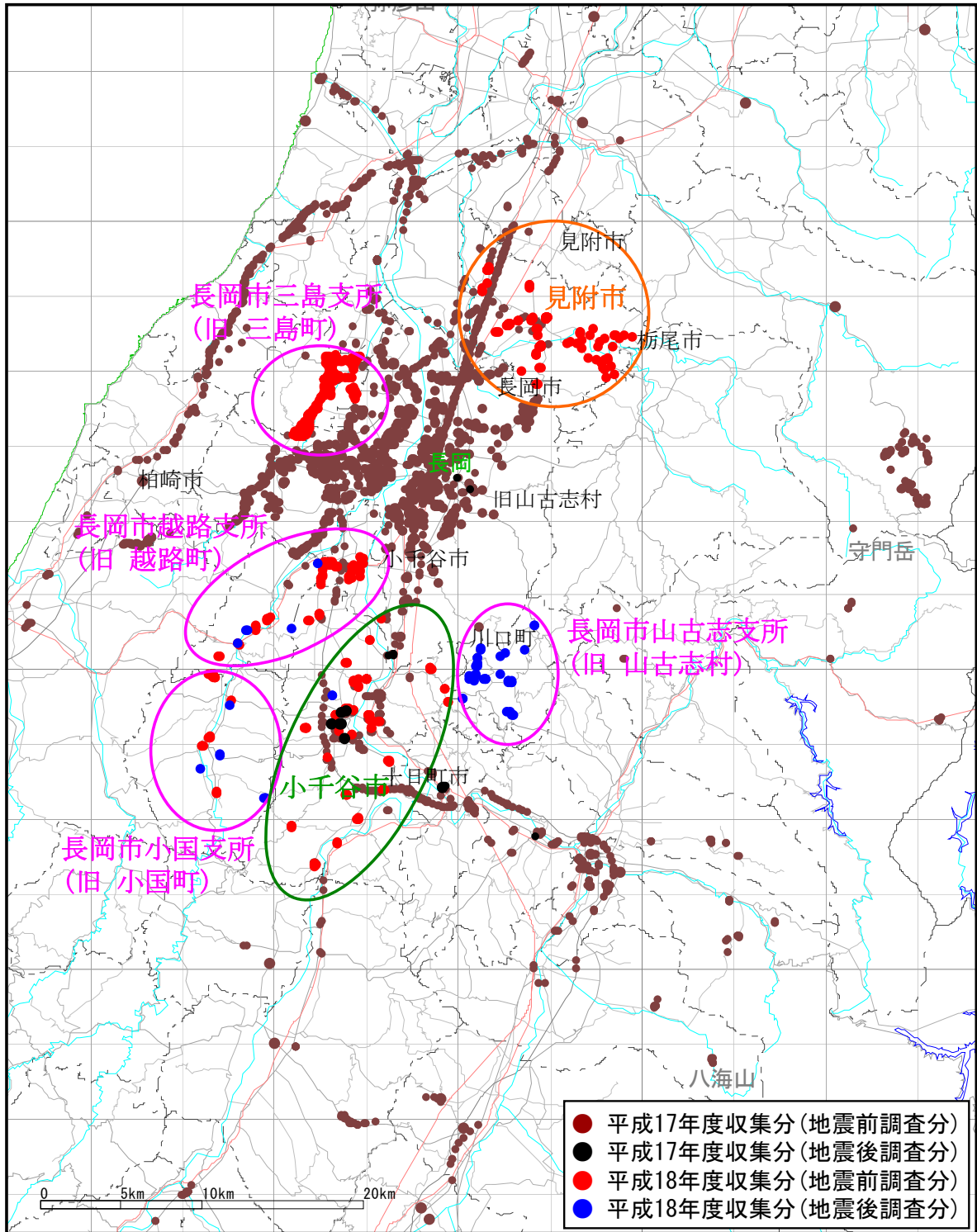


図2 収集したボーリングデータの分布

3.3 統合方法

ボーリング地点のデータを用いて各 250m メッシュの AVS30 を評価する際には、石田ら¹²⁾が行っているように、式(2)に示す距離の重みを用いて、ボーリングデータの重みを表す。

$$w_{ij} = \begin{cases} 1/r_{ij}^n & : i \text{ 点と } j \text{ 点の地形分類が異なる時} \\ \alpha/r_{ij}^n & : i \text{ 点と } j \text{ 点の地形分類が一致する} \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 w_{ij} は i 番目のボーリングデータの j 番目のメッシュに対する重みであり、 r_{ij} は i 地点と j 地点間の距離である。 α は地形分類が同じである点の重みを増すための係数であり、 $\alpha=1$ の場合、地形分類の違いを考慮しないということである。石田ら¹²⁾と同様に、 $n=2$ とする。この時、地形分類も r_g の距離に相当するボーリングデータとして扱うことにより、地形分類の重み w_g を式(3)に示すように表す。

$$w_g = \frac{1}{r_g^n} \quad (3)$$

そして、式(4)のように、地形分類による項を加えることで、ボーリングデータによる AVS30 と地形分類による AVS30 を統合することができる。

$$\overline{AVS}_j = \frac{\sum_{i=1}^n w_{ij} AVS_i + w_g AVS_g}{\sum_{i=1}^n w_{ij} + w_g} \quad (4)$$

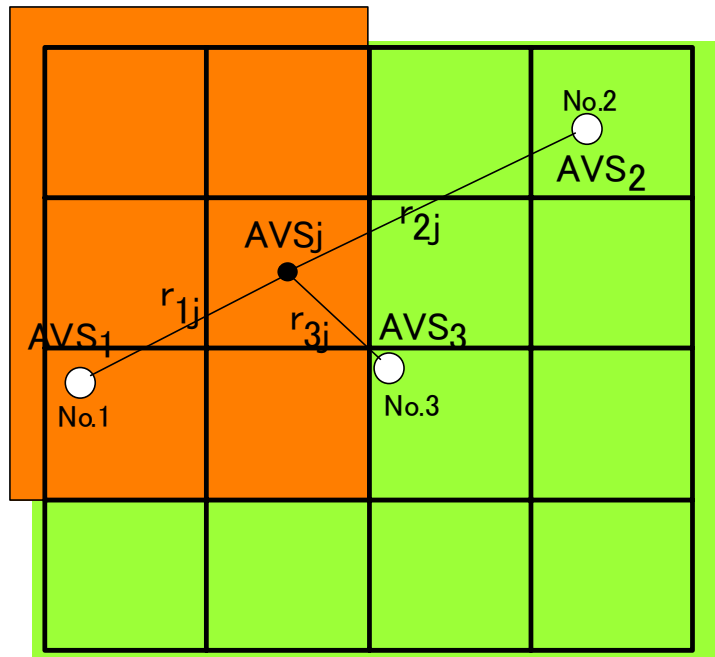


図3 地形分類の重みの考え方

ここで、 \overline{AVS}_j は j 地点の推定 AVS30、

AVS_i は i 地点のボーリングデータによる AVS30 であり、 AVS_g は式(1)から得られる地形分類による AVS30 である。

図3に簡単な例を示す。図の場合、●で示す j 番目のメッシュでの AVS30 を、○で示す3点のボーリングデータを用いて評価している。オレンジ色と緑色ではメッシュの地形分類が異なることを表している。No.3が最も近いが、同一地形分類内にあるNo.1地点の重みが大きくなるように α 倍するものである。式(4)を用いることで、ボーリングデータが豊富であれば地形分類による AVS30 の影響は小さくなり、データがなければ地形分類の影響が大きくなることを確認できる。なお、今回の場合、山地・丘陵等（分類1～7）では、ボーリングデータが少なく AVS30 が 300m/s を越える硬い地盤でもあるので、地形分類のみから評価する。

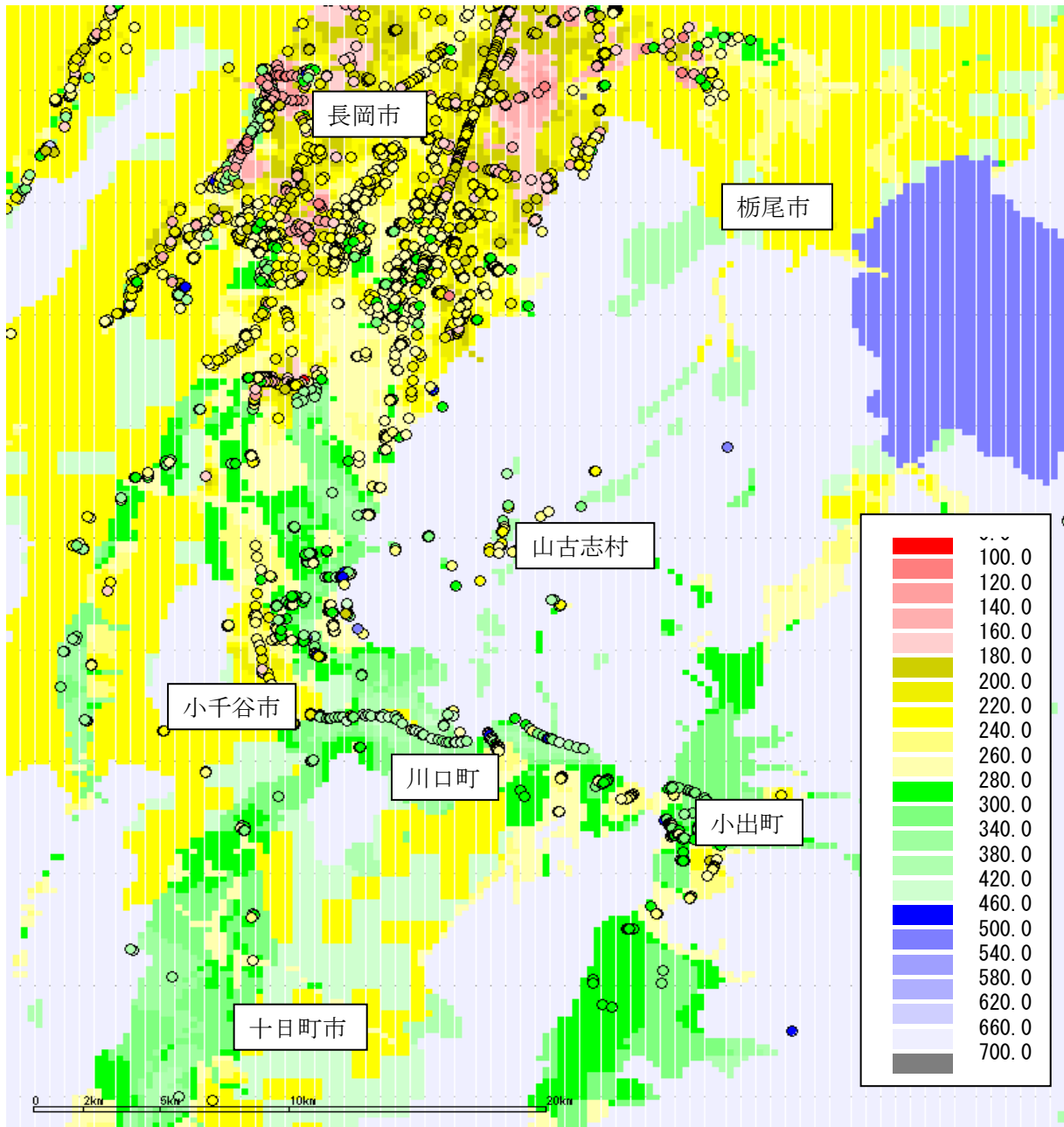


図4 提案法によるAVS30の分布（更新版）

3.4 観測地震動の空間補間

当然のことながら、観測値を用いることで、距離減衰式のみを用いるよりも精度の良い評価が可能となる。ここでは、78地点での観測値を用いる(気象庁:8点、新潟県:22点、K-NET:18点、KiK-net:8点、国土交通省:6点、旧日本道路公団:7点、JR東日本:8点、その他:1点)^{13)~16)}。単純な補間方法では断層からの距離の影響を考慮できないので、距離減衰式をトレンド成分(平均値)としたsimple Kriging法を用いる。残差成分は、平均値0の指数分布とし、相関距離を20kmとする。等価震源距離をHonda et al.¹⁷⁾によるすべり分布から評価し、これをパラメータとする司・翠川式¹⁸⁾をトレンド成分として用いる。

図5に最大速度と計測震度について、補間により得られた分布を示す。○印は観測値である。計測震度は、童・山崎¹⁹⁾を用いて最大速度から変換している。最大速度の増幅度は、翠川ら²⁰⁾を用いて評価しており、計測震度の増幅度は、末富ら²¹⁾を用いて(AVS30と同時に評価したAVS20の関数として)評価している。得られた分布より、川口町～小千谷市～長岡市南部の信濃川沿いの低地部で極めて大きな地震動であったと思われる。長岡市東部で地震動が大きく、中心部で小さいことは被害とよく対応している。長岡市東部で大きい理由としては、表層地盤の差異が第一と思われる、それに加え東部の方が断層に近いこと、基盤の不整形なども影響しているものと考えられる。長岡市東部は谷底平野であり、軟らかい粘土層が堆積しているのに対し、中心部は河岸段丘に相当する礫層から成り、東部よりも硬い地盤となっている。

本研究では、土木学会調査団や各機関のホームページ等から、2004年新潟県中越地震における気象庁、新潟県、防災科研、国土交通省、旧日本道路公団、東日本旅客鉄道株式会社、小千谷総合病院による観測記録または最大値指標を利用させて頂きました。また、地震動分布計算には、文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト「震災総合シミュレーションシステムの開発」の成果を利用しました。独立行政法人防災科学技術研究所の若松加寿江博士及び松岡昌志博士には、地形分類を用いたAVS30評価に関し、ご協力を頂きました。関係各位に感謝の意を表します。

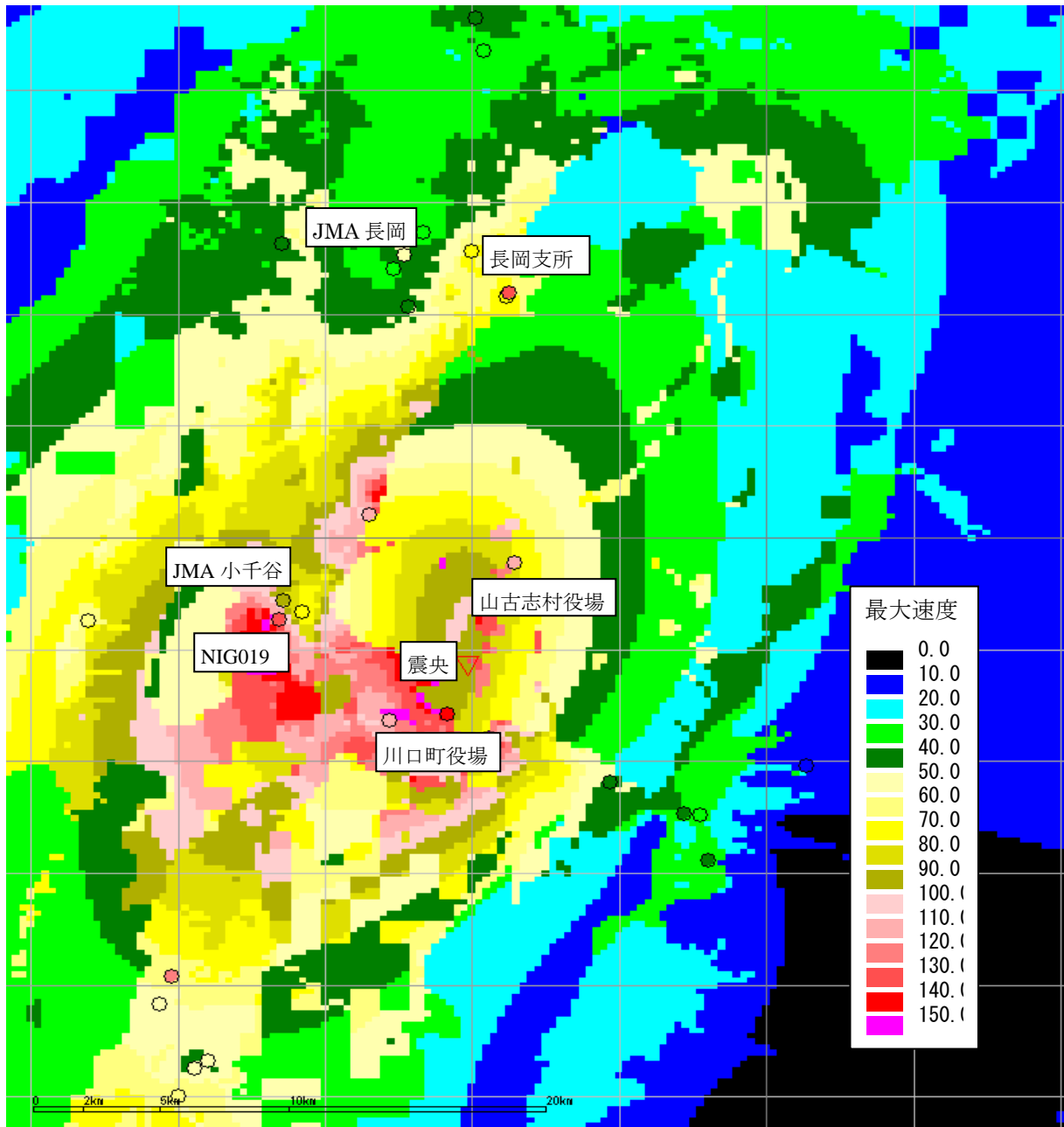


図5(a) 最大速度分布

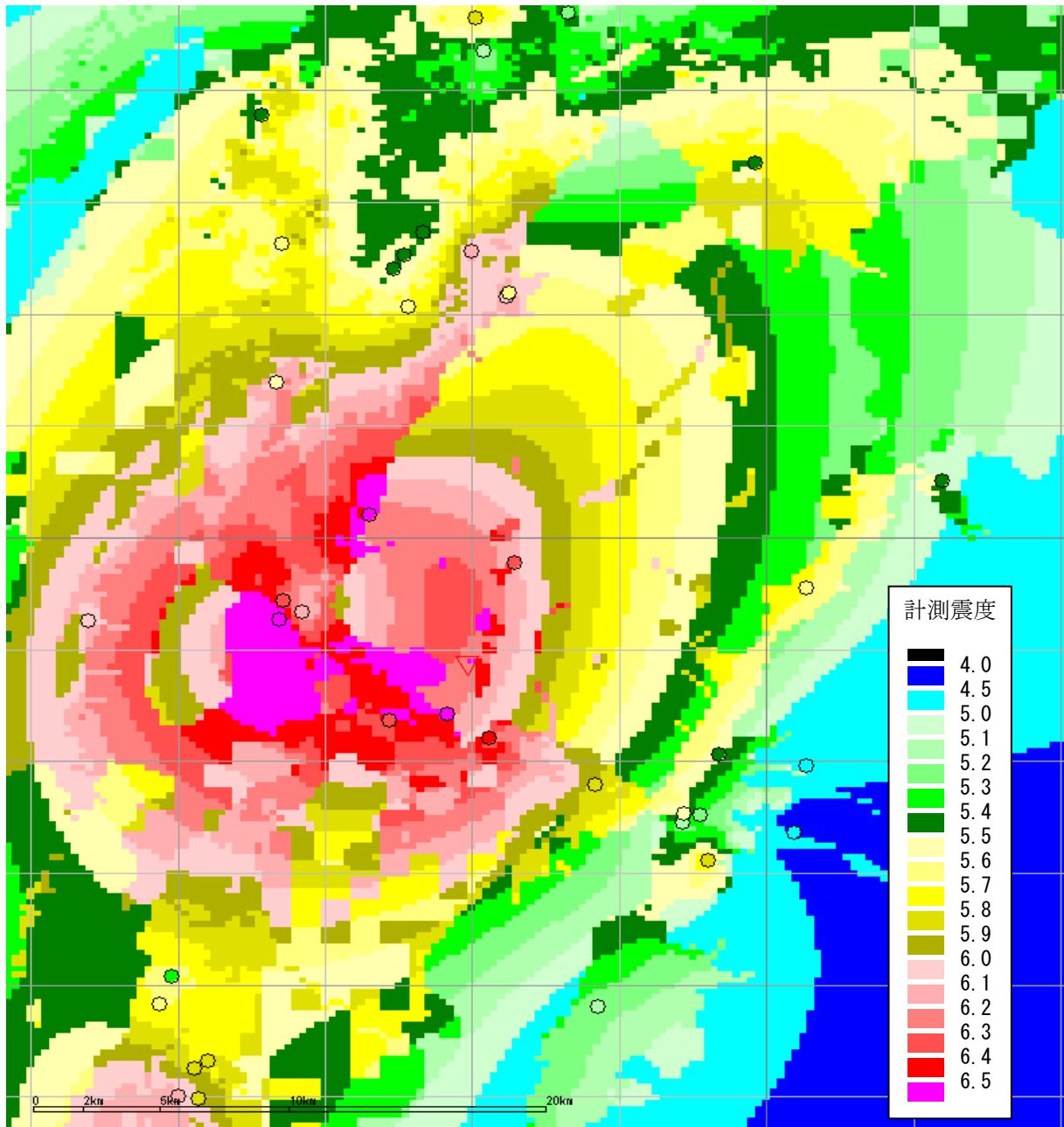


図5(b) 計測震度分布

参考文献

- 1) 防災科学技術研究所：観測点一覧(K-NET), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/k-net/db/>
- 2) 防災科学技術研究所：基盤強震観測網 KiK-net, <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>
- 3) 先名重樹・森川信之・大井昌弘・安達繁樹・藤原広行：小千谷・川口地区における微動探査結果と浅部地盤構造について，地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会，<http://earth2005.jtbcom.co.jp/session/pdf/s101/s101p-020.pdf>, 2005.
- 4) 土木学会地震工学委員会：2004 年新潟県中越地震観測地震記録ダウンロードサイト，<http://download.jsce.or.jp/>, 2005
- 5) 日本技術開発株式会社：新潟県中越地震災害調査検討に関わる調査補助業務 強震観測地点における地質調査報告書，2005.
- 6) 建設省北陸地方建設局北陸技術事務所：新潟県平野部の地盤図集(新潟平野編) [4]ボーリング柱状図(Q~Z)(5 の 4)，(社)北陸建設弘済会，1981.
- 7) (社)新潟県地質調査業協会：新潟地盤図 1/3,2/3，2002.
- 8) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V.耐震設計編，1996.
- 9) 若松加寿江・松岡昌志・久保純子・長谷川浩一・杉浦正美：日本全国地形・地盤分類メッシュマップの構築，土木学会論文集，No.759/I-67，pp.213-232，2004.
- 10) 若松加寿江・松岡昌志・坂倉弘晃：新潟地域の地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築とその適用例，第 28 回地震工学研究発表会，土木学会，2005.
- 11) 松岡昌志・若松加寿江・藤本一雄・翠川三郎：日本全国地形・地盤分類メッシュマップを利用した地盤の平均 S 波速度分布の推定，土木学会論文集，No.794/I-72，pp.239-251，2005.
- 12) 石田栄介・磯山龍二・山崎文雄・清水善久・中山渉：防災 GIS を用いた地盤増幅度の面的整備と地震動面的分布推定に関する検討，第 26 回地震工学研究発表会講演論文集，pp.421-424，2001.
- 13) 澤田純男・後藤洋三・末富岩雄・福島康宏：強震記録，土木学会(第 1 次)・地盤工学会合同調査団 調査速報 2.2 節，<http://shake.iis.u-tokyo.ac.jp/chuetsu/2-2.pdf>, 2005.
- 14) 気象庁：95 型震度計波形データ 2004 年 1 月～12 月，気象業務支援センター，2005.
- 15) 土木学会地震工学委員会：2004 年新潟県中越地震観測地震記録ダウンロードサイト，<http://download.jsce.or.jp/>, 2005.
- 16) 国土技術政策総合研究所：国土交通省河川・道路等施設の地震計ネットワーク情報，<http://www.nilim.go.jp/japanese/database/nwdb/index.htm>
- 17) Honda, R. et al.: Ground motion and rupture process of the 2004 Mid Niigata Prefecture earthquake obtained from strong motion data of K-NET and KiK-net, EARTH PLANETS AND SPACE, 57-, pp.527-532, 2005.
- 18) 司宏俊・翠川三郎：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，第 523 号，pp.63-70，1999.
- 19) 童華南・山崎文雄：地震動強さと新しい気象庁震度との対応関係，生産研究，48，11，pp.547-550，1996.
- 20) 翠川三郎・松岡昌志・作川孝一：1987 年千葉県東方沖地震の最大加速度，最大速度にみられる地盤特性の評価，日本建築学会構造系論文集，第 442 号，pp.71-78，1994.
- 21) 末富岩雄・石田栄介・磯山龍二：空間補間による地震動分布推定の高精度化のための一検討，第 28 回地震工学研究発表会，土木学会，2005.