

沖積層の三次元グリッドモデルとその作成手法 (概要)

—東京低地北部から中川低地南部の例—

Three-dimensional grid model of the Chuseki-so

: a case of the northern Tokyo and the southern Nakagawa Lowlands

木村克己¹, 石原与四郎², 花島裕樹³, 根本達也⁴,

¹地質情報研究部門, ²福岡大学理学部地球圏科学科,

³筑波大学生命環境科学研究科, ⁴大阪市立大学大学院理学研究科

Katusmi Kimura¹, Yoshiro Ishihara², Yuki Hanashima³, Tatsuya Nemoto⁴,

¹ Institute of Geology and Geoinformation,

² Department of Earth System Science, Fukuoka University

³Department of Earth and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Graduate School of Science, Osaka City University⁴

<要旨>

本報告では、ボーリングデータを利用した地下地質・地盤に関する三次元グリッドモデルの作成手法とそれを用いて作成した東京低地北部から中川低地南部の事例の概要を紹介する。ボーリングデータを用いた三次元グリッドモデルの作成手法は、最初に江藤ほか(2008)において紹介されている。今回、三次元グリッドモデルの作成手法を改訂した。第一に、従来、沖積層とその基盤をなす更新統とを分けずにグリッドモデルを作成していたが、今回、沖積層基底面モデルを作成し、それを境界面として上位の沖積層と下位の基盤の更新統とをそれぞれ別々にグリッドモデルを計算して求め、そのあとで沖積層基底面モデルを介して統合することとした。このことにより、開析谷地形をなす沖積層基底面を境にした急激な土質・N値の変化をグリッドモデルでよりの確に表現できることになった。そして、第二に、従来、N値のグリッドモデルの計算において、そのグリッドの土質にかかわらずすべての参照データのN値を対象として計算処理を行っていたが、各グリッドの最頻値となった土質に相当するN値のデータだけを対象として、グリッドのN値の計算処理を行った。このことにより、土質とN値との相関性を個々のグリッドにおいても表現できるようになった。そして、この改良手法に基づき、東京低地北部から中川低地南部にわたる沖積低地の地下地質・地盤について、約3500本のボーリングデータを利用してN値と土質分布の三次元グリッドモデルを作成した。範囲は、北緯35.716~35.872度、東経139.772~139.915度で、南北17.4km、東西13.2kmの面積を有する。各グリッドは標準メッシュの8分の1分割メッシュ(約125mメッシュ)の中央点とした。本グリッドモデルでは、沖積層とその基盤をなす更新統との境界を挟んだN値および土質の明瞭な変化を可視化できることが判明し、物性境界面を三次元モデルとして表現することができた。

1. はじめに

土木・建設事業の計画に際して、地盤のボーリング調査が実施され、ボーリングデータが得られる(以下、土質ボーリングデータと略称)。こうした土質ボーリングデータは、建築物の支持層の深度や建築物の設計における地盤の工学的特性の指標となるだけでなく、地盤の層序や堆積環境を解釈する上で基本となる地下の地質情報としても活用されてきた。一般的な利用は、土質ボーリングデータを基準となる層序や土質柱状図と対比することで、土質や地層境界面の空間分布を検討し、地質断面図や地層境界面の等標高線図などを作成することである。しかし、従来の対比とそれに基づく地質断面図では、土質や N 値の漸移的な変化や三次元的に地層境界や土質分布を可視化することができない。加えて、根拠のない土質対比により、実際とは異なる土質分布を地質断面図に描く可能性もある。最近、国交省の電子納品要領(国交省, 2004; 2008)に定められたボーリング交換用データ様式が業界標準となり、ボーリングデータ処理に必要な入力・編集・表示・解析という一連の作業用のソフトウェアが無料でも公表されてきている(防災科研, 2010; 産業技術総合研究所, 2010)。そのため、ボーリングデータベースを利用して地質地盤を検討する環境が整ってきているといえよう。こうした研究事例は、科振費課題「統合化地下構造データベースの構築」における研究事業(防災科研, 2006)の展開とともに、急増している(田辺ほか, 2006; 江藤ほか, 2008; 木村・石原, 2009; 村上ほか, 2010; 大島ほか, 2010; 安田ほか, 2010)。これらの研究のうち、田辺ほか(2006)、江藤ほか(2008)、木村・石原(2009)の研究は、地質モデル構築を目的としている点に特徴がある。その他の研究は地盤の工学的特徴の解明に力点が置かれている。前者の地質学的な三次元グリッドモデルの構築手法は、始めに Eto et al.(2007)で報告され、続いて江藤ほか(2008)では地質学的な応用例を加えて整理された。江藤ほか(2008)による三次元グリッドモデルの構築手法は、①ボーリング柱状図の数値情報の抽出とデータベースの再構築、②土質情報の細区分と数値化、③深度方向に等間隔なデータセットの作成、④水平方向に等間隔なデータセットの作成、の手順からなる。しかし、江藤ほか(2008)らの手法には、N 値と土質の空間モデルを直接地震動予測などの応用課題に利用する場合において 2 つの問題があった。第一に、ボーリングデータにおいて、沖積層とその基盤をなす更新統とを区別せずに計算処理を実施している点である。彼らの手法によれば、地質学的な解釈を行うことなく、グリッドモデルをアルゴリズムによる計算処理で、迅速に実施者の地層境界区分の判断いかんによらずに、設定したパラメーターに応じてユニークで更新可能な空間分布モデルが得られるという利点がある(江藤ほか, 2008)。一方では、空間分布モデルで得られた沖積層基底面境界付近の N 値と土質は、両層の N 値と土質とが区別されずに平均化された値になる傾向がある。沖積層基底面は、軟弱な沖積層とその基盤をなす更新統とを境する物性境界面でもあり、基底面によるモデルの制約はモデルの精度向上において不可欠な要件であった。第二に、各グリッドの N 値と土質とが独立に求められるため、各グリッドの N 値はその土質の N 値を必ずしも反映していないことである。N 値を独立した変数として扱う長所は、全 N 値を対象としてその空間分布を補間することができる点にある。しかし、N 値は土質の粒度によって大きく変化するため、各グリッドの土質に対応する N 値分布を求めるためには、手法の改訂が必

要である。本報告では、これらの課題を解決するために、第一に、沖積層基底面を境にして、沖積層とその基盤層とにボーリングデータを分離して、それぞれ土質と N 値のグリッドモデルを作成し、その後、両グリッドモデルを同面で上下に統合するという手順を導入した。第二に、N 値については、各グリッドの最頻値の土質にあたるボーリングデータの N 値だけを計算対象とする手順を導入した。

本報告では、上記の改訂グリッドモデル手法を紹介するとともに、ボーリングデータベースを使って、関東平野中央部の中川低地から東京低地域の沖積層の三次元モデルとして基底面モデルと土質と N 値の三次元グリッドモデル構築の事例を紹介する。

2. 研究対象地域と地形・地質概要

研究対象とした地域は、北緯 35.716～35.872 度、東経 139.772～139.915 度の範囲である(図-1)。解析に利用したボーリングデータは、産業技術総合研究所の都市地質研究プロジェクト(木村, 2004)によって整備されたボーリングデータベースから抽出した約 5000 本である。これらのデータは、田辺ほか(2008)で紹介されているように、埼玉県、および同県内の三郷市、草加市、越谷市、春日部市、東京都、および葛飾区、江戸川区、千葉県、流山市、野田市、柏市の各自治体、および(独)防災科学技術研究所、(独)土木研究所から提供を受けたものである。防災科研と土木研から提供を受けたデータ以外は、産業技術総合研究所の都市地質研究プロジェクトにおいてボーリング柱状図の紙資料から電子化を行った。

対象地域の地形・地質について、木村ほか(2010a)より説明文を以下に引用しておく。対象地域は、下総台地、大宮台地、武蔵野台地に挟まれた東京低地北部から中川低地に位置し、地下には最終氷期最盛期までに形成された開析谷を充填した軟弱な沖積層が伏在している(図-1)。開析谷としては、中川低地地下には古中川が流下した中谷、荒川低地地下には古荒川が通路となった荒谷がそれぞれ伏在し、両谷は東京低地下の東京谷につながる。東京谷を流れた川は古東京川と呼ばれている(図-1; Kaizuka et al., 1977)。これらの谷の幅は 1.5～4km、谷底の標高は-70～-50m で、隣接する台地面からの比高は 70～90m におよぶ。谷沿いには、標高-5～-10m の波食台・棚、-15～-48m までには 3 段の立川段丘面に相当する河成段丘面が随伴している(図-1; Matsuda, 1974; Kaizuka et al., 1977; 遠藤ほか, 1983; 松田, 1993)。図-2 は、東京低地を東西に横断する地質断面図であり、沖積層基底面が示す埋没地形、沖積層とその基盤をなす更新統の分布が示されている(松田, 1993)。同断面図において、図中の no.64～90 間の沖積層基底面は本谷底を示し、その上位には基底礫層が重なっている。no.26～56 の沖積層基底面は、埋没河成段丘面、東部の標高-17m、-10m 付近の沖積層基底面は、N 値 30～50 の砂を基盤とする埋没波食台の平坦面に相当する(松田, 1993)。埋没河成段丘面は、埋没関東ローム層および段丘堆積物(立川段丘堆積物相当)、そしてその直下には下総層群が分布しており、波食台は下総層群からそれぞれ構成される。段丘堆積物は下総層群を不整合に覆う。下総層群の下位には上総層群が伏在する(Kaizuka et al., 1977; 遠藤ほか, 1983; 遠藤ほか, 1988; 東京都土木技術研究所, 1996)。

こうした開析谷を埋積する沖積層は厚さ最大 70m で、その層序・土質は、Kaizuka et al.(1977)によれば、下位から上位へ、砂と礫からなる基底礫層(BG)、砂と泥からなる下部層(LC, LS)、砂からなる中部層(中間砂層; MS)、海成粘土・シルトとその上位に重なる河川成堆積物からなる上部層(UC, US)に区別されている(図-2 参照)。N 値でみると、図-2 の例で認められるように、基底礫層の 50 から上方へと急激に小さくなり、上部の海成粘土・シルトでは N 値 0~3 と軟弱になる(清水, 1972; 地盤工学会, 1998 ほか)。1960 年代から 1980 年代頃までは、中間砂層の基底ないしその付近の層準に不整合があると考えられていたが(青木・芝崎, 1966; Kaizuka et al., 1977; 遠藤ほか, 1983), 石原ほか(2004a), 石原ほか(2004b), 木村ほか(2006), 田辺ほか(2006)らのオールコア試料に関する高密度な C14 年代測定や堆積相解析などの研究から、沖積層は海進から海退の一連の層序を示すことが明らかにされている。そして、彼らの研究は、本地域の沖積層の堆積システムが、下位から上位へ、網状河川システム、蛇行河川システム、エスチュアリーシステム、デルタシステムからなることを示した(図-3; 木村ほか, 2006)。青木・芝崎(1966), Kaizuka et al.(1977), 遠藤ほか(1983)らの東京低地の沖積層に関する代表的な岩相層序区分との関係は、木村ほか(2006)によって、図-4 の層序対比図で紹介されている。

3. 三次元グリッドモデルの作成手法

三次元グリッドモデルは、江藤ほか(2008)の手法を基礎にするが、今回新たに、沖積層基底面を境に、ボーリングデータを沖積層とその基盤層とに分離した上で、それぞれのグリッドモデルを作成し、その後で両モデルを同面で上下に統合したこと、そして、各グリッドの計算対象とする N 値は、各グリッドの最頻値の土質にあたるものだけとするという改訂を行った。その作成手順はつぎのとおりである。①モデル検討用のボーリングデータの抽出・整理、②個々のボーリングデータでの沖積層基底面深度の決定、③ボーリングデータによる沖積層と沖積層基盤の両グリッドモデルの作成、④両グリッドモデルの統合、⑤グリッドモデルの品質確認と内容の検証、である。これらの処理のうち、②と④が改訂した項目にあたる。以下、各処理項目の内容を説明する。

3-1 モデル検討用のボーリングデータの抽出・整理

ボーリングデータは、ボーリング交換用データ(XML 形式)の様式で電子化され、産業技術総合研究所の都市地質データベースに登録されている。このデータベースから、モデル対象地域内のボーリングデータの XML ファイルを抽出・整理する。

3-2 個々のボーリングデータでの沖積層基底面深度の決定

3-1 で抽出・整理したボーリングデータセットの XML ファイルを産総研開発の「ボーリング柱状図解析システム」(産総研のボーリングデータ処理システムの WEB サイト参照)に読み込み、同システムで位置図として利用する国土地理院 2 万 5 千分の 1 地形図および柱状図を投影した地質断面図(以下、柱状断面図と呼ぶ)表示における地形断面描画で利用する 50mDEM を登録する。つぎに、同システムを利用して、柱状断面図を表示し、その中で、木村ほか(2006)、中西ほか(2007)、田

辺ほか(2008)などの沖積層とその基盤をなす更新統の層序・土質に関する地質解釈にしたがって、個々のボーリング柱状図について沖積層基底面深度を確定する。確定後、個々のボーリングデータの XML ファイルにその沖積層基底面深度情報を登録する。柱状断面図は、南北 400m 間隔で緯度線に平行に東西断面線を設定し、それぞれの断面図に断面線からの幅 200m 内のボーリング柱状図を投影して作成する。なお、沖積層基底面モデルの作成手法の詳細は、木村ほか(2010b)で発表したが、別途論文として報告する予定であり、本報告では概略の記述にとどめておく。

3-3 ボーリングデータによる沖積層と沖積層基盤の両グリッドモデルの作成

3-2 の作業で、沖積層基底面深度情報が付与されたボーリングデータの XML ファイルを対象に、各グリッドノードの N 値と土質について空間補間計算を行う。処理方法は、(1),(3)では江藤ほか(2008)の手法(図-5 参照)に準拠し、その他の手順は新たに考案した。以下、作業過程の概要を説明する。

(1) 処理用データベースの作成:江藤ほか(2008)に基づく。計算処理にあたって、処理用データベースを個々のボーリングファイルから作成する。データベースの項目は、ボーリング ID(ボーリングファイル名)、緯度経度、1m 毎の標高(20~-70m の範囲)に対応する N 値と土質名からなる。このとき、各ボーリングファイルの N 値と土質は、深度方向に等間隔のデータセットとするために、1m の標高区間毎に並び替えられる。N 値は 0~50 の範囲と定め、自沈粘土は 0, 50 以上は上限値として 50 にするという処理を行う。土質区分は、砕屑粒子の粒度組成の違いによる礫、砂、砂泥、泥の 4 大区分、およびこれら以外の土質として、人工土、腐植土、ロームを設定する。土質のコードは、今回沖積層と基盤の更新統とを区分し、人工土は-200、沖積層の礫、砂、砂泥、泥、腐植土は順に 40, 30, 20, 10, -50、沖積基盤の更新統の礫、砂、砂泥、泥、腐植土、ロームについては、それぞれ順に 41, 31, 21, 11, -51, -80, と設定した(表-1)。

(2) グリッドノードの緯度経度リストの作成:グリッドノードの位置と間隔を示す緯度経度のリストを作成する。本論では、個々のグリッドの位置は、行政管理庁告示第 143 号(昭 48.7.12)で定められた標準地域メッシュ・システムに基づき、3 次基本メッシュ(約 1km 四方;以下、1km メッシュと呼ぶ)を 8 分の 1 に分割したメッシュ(約 125m 四方;以下、125m メッシュと呼ぶ)の中央点に定めた。

(3) グリッドノード値の計算処理:江藤ほか(2008)に基づく。水平方向に等間隔なグリッドノード上のデータセットを作成する。その手順は、標高 1m 毎に水平方向に各グリッドについて補間の計算処理を行い、各グリッドの N 値と土質を求める。1m 毎に同じ位置座標をもつ N 値と土質のデータセットを作成する。これらを積み重ねることで、三次元の土質・N 値の分布モデル(グリッドモデル)を作成することができる(図-5)。データシートでは、各グリッドノードにおける土質と N 値の補間データが、それぞれ 1 行に標高 20~-70m 範囲において 1m 毎に配列されている。

グリッドノードにおける補間値として、土質は参照データの中での最頻値として求め、一方、N 値はその土質にあたる N 値だけを対象として、0~50 の連続変数として逆距離加重法で計算して求める。データの参照範囲はグリッドノードを中心に約 1km(0.015 度)とし、8 分割法により近隣点を各

領域から 2 点, 最大 16 点を選択する. また, 近隣点のうち平均からのずれの大きい値は計算から除く. 逆距離加重法による計算では, 距離による重み係数を決定する乗数は, 基本的に 2 を採用している. なお, 計算にあたって, 江藤ほか(2008)では緯度経度の測地系で実施したが, 今回, すべての緯度経度を UTM による XY 座標系に変換した上で計算を実施した.

(4) 空きグリッドのデータ補填: 参照できるデータが乏しく計算値が得られなかったグリッド(空きグリッド)で占められる空白エリアに対する補填作業として, 2 分の 1 分割メッシュ(500m メッシュ)に 1 点もボーリングデータがないことを基準に, 同エリアの地形・地質に適したボーリングデータをそのエリアにおける仮想ボーリングデータとして 1 本補填する(図-6). 今回のモデル作成においては, 335 本の仮想ボーリングデータを設定した(図-6).

(5) 第二条件のグリッド計算: 補填ボーリングデータをオリジナルのボーリングデータに加えて, 再度, 3-3(1)~(2)の作業を行って, ボーリングデータによる沖積層と沖積層基盤の両グリッドモデル(補填版)を作成する. なお, オリジナルデータだけのグリッド値を第一条件, 本作業によるグリッド値を第二条件のグリッド値とそれぞれ呼んで両値を区分する.

3-4 沖積層と沖積層基盤の両グリッドモデルの統合

(1) 第一条件のグリッドモデルの統合: 3-3 の分析結果得られた沖積層と沖積層基盤に関する第一条件のグリッドモデルについて, 沖積層基底面境界のサーフェスモデル(50mDEM)をモデル境界面として統合する(図-7). すなわち, 沖積層基底面境界と整合するように, それからはみ出た沖積層と沖積層基盤の両グリッドを削除して両グリッドを統合する.

(2) 第二条件のグリッドモデルの統合: 上記(1)と同様に, 第二条件のグリッドモデルを統合する.

(3) 空きグリッド補填処理1: 第一条件の統合グリッドモデルの値を優先し, その空きグリッドについて, 第二条件の統合グリッドモデルのデータを補填する(図-7).

(4) 空きグリッド補填処理2: 同上の処理で得た統合補填処理1グリッドモデルについて, なお残存する空きグリッド補填処理として, 水平方向のグリッド補間の作業を行う. この補間作業は, 空白域のグリッドに水平面内で隣接する4つのグリッドのN値ないし土質を対象として, 空きグリッドのN値と土質について, N値は算術平均値, 土質は最頻値として計算処理する. このとき, N値の補間値は, 前述の補間処理(3-3(3))と同様に最頻値として採用される土質と同じグリッドの値のみを参照し, 平均値を算出する.

この作業を4回繰り返し試行した. この作業において, (3)の補填処理1後の空きグリッドの数は約76000であったが, 3-3(5)のグリッド補填作業の結果, 約12000まで減少した. 補間作業の試行回数を重ねることで, より広範囲のグリッドに対して補間が行われることから, 不適切な補間が起こりうる可能性が高くなる. 従って, 空きグリッドの減少率の変曲点となった4回目時点のグリッドモデルを採用した.

3-5 グリッドモデルの品質確認と内容の検証

3-4 までの作業で作成したグリッドモデルの品質確認と内容の検証として, グリッドモデルを「柱

状図解析システム」に登録し、個々の柱状断面図とグリッドモデルのイメージとを比較検討する。この作業では、特にデータ空白の多い沖積層基底面境界付近について、検討する。

4. 三次元グリッドモデルの内容

三次元グリッドモデルは、N 値と土質の三次元空間分布を、水平方向へのデータ補間を行ったデータセットを垂直方向に積み重ねることで作成される(江藤ほか, 2008)。本報告では、前節で記述したように、江藤ほか(2008)の作成手法に基づき、新たに沖積層基底面をデータコントロール条件として、沖積層とその基盤層とにボーリングデータを分離してグリッドモデルを作成し、両モデルを同面で上下に統合するとともに、N 値については、各グリッドの最頻値の土質にあたるボーリングデータの N 値だけを計算対象とするという改訂を行った。

今回作成した三次元グリッドモデルは、水平面内は、東西 13.2km, 94 グリッド(東経 139.772～139.915 度), 南北 17.4km, 148 グリッド(北緯 35.716～35.872 度)からなり、垂直方向は-70～20m まで、垂直 1m 間隔のグリッドから構成される。N 値は 0～50, 土質は人工土と礫, 砂, 砂泥, 泥, 腐植土, ロームについてそれぞれ沖積層と沖積基盤にあたる更新統の土質について区分した(表-1)。

4-1 垂直断面図

代表的な事例として、北緯 35.718, 35.747, 35.764 度に平行に沿った 3 つの N 値および土質断面図を示す。各断面図の位置は、図-8～10 に示す。各断面図には土質柱状図において沖積層基底面深度を示す▲印とそれを結ぶ破線が明示されている。また、土質は沖積層と沖積基盤の更新統とを区分しているため、土質分布は、両層の境界を明示している。

手法の改訂によるモデルの変化を明示するために、江藤ほか(2008)の手法で作成した田辺ほか(2006)の N 値のグリッドモデル(図-11)とその位置にほぼ相当する北緯 35.747 度と 35.764 度の断面図について比較する。本研究と田辺ほか(2006)で用いたボーリングデータはほぼ同じであるので、両者のモデルの違いは、モデルの作成手法の違いによるものと考えられる。

緯度 35.718 の地質断面図(図-8)

武蔵野台地の北東縁から東京低地の東端付近までを横断する。沖積層基底面は、西縁の台地と低地の境界をなす段丘崖から東方へ、20/1000 ほどの傾斜面をなして標高 0m から-30m まで下り、埋没段丘面に相当する-30m 付近の平坦面をなす。その東側は本谷底にあたる最深部が標高-65m の凹状形をなし、120/1000 ほどの急斜面を経て標高-10～-6m の波食台にあたる平坦面となる。

更新統は、段丘堆積物と下総層群相当層からなる。下総層群相当は、沖積層および埋没段丘・台地の基盤を構成する。断面図では、両サイドの標高-35m 以浅の分布域しか表現されていない。主に砂層からなり、砂泥・泥・礫を伴い、ほぼ水平成層している。N 値は礫・砂では 25～50 で-20 以深では 45 以上を示す。埋没段丘堆積物は、下部の礫層とその上位に重なる砂と泥から構成される。

その直下の下総層群は断面図では表現されていない。

沖積層は-32m 以浅とそれ以深とで N 値や土質の特性が異なる。-32m 以浅は、海成の泥・砂泥層が卓越し、最上部に分布する砂層は河成である。N 値で見ると、標高-32~-15m では上方に向かって N 値が低下し、その上位では逆に上記の砂層基底付近まで N 値が増加していることがわかる。これらは土質の地質断面をみると、それぞれ砂泥から泥への上方細粒化と泥→砂泥→砂への上方粗粒化に相当している。下部の N 値の上方低下と上方細粒化、上部の N 値の上方増加と上方粗粒化はそれぞれ海進期の深海化(エスチュアリー→プロデルタ)、海退期の浅海化(プロデルタ→デルタプレーン)に相当する(木村ほか, 2006 ほか)。一方、-32m 以深は、凹状の本谷底域内に分布が限られている。その基底部に基底礫層相当の礫、その上位に砂・砂泥・泥とが混ざり合った分布を示すが、全体に上方に泥が多くなり、N 値が低下する傾向が認められる。これらは、沖積層の堆積システムモデルと比較すると、基底礫層が網状河川システム、その上位の砂・砂泥・泥が蛇行河川システムから一部エスチュアリーシステムの堆積環境に相当する(木村ほか, 2006 ほか)。

緯度 35.747 の地質断面図(図-9)

本地質断面図は、その西縁部は、武蔵野台地の北東縁の海食崖直下に位置する緩斜面部に位置し、東方へ東京低地を横断し、下総台地西縁付近にいたる。沖積層基底面は地質断面図の西半部において、埋没段丘面に相当する標高-25m と標高-35m の 2 段の平坦面をなす。中央部は標高-62~-64m の凹状の形をなす本谷底にあたる。その東方は 135/1000(約 8 度)の段丘崖を挟んで、波食台に相当する標高-4m 付近の平坦面をなし、西に隣接する下総台地の谷底低地下に続く。

更新統は、埋没段丘堆積物と下総層群相当層からなる。埋没段丘堆積物は厚さ 2~5m の段丘礫層とその上位に重なる厚さ数mの砂ないしローム、泥(火山灰質粘性土と推定)から構成されている。下総層群相当は、埋没段丘堆積物の下位および断面図東部にその分布が断面図に表示されている。砂が卓越し、泥・砂泥を伴う。土質の分布はみかけ東傾斜を示す。N 値は砂では 25~50 で-15 以深では 45 以上を示す。

沖積層は、35.718 地質断面図と同様に、淡水成の礫・砂・砂泥・泥からなる下部と海成の泥・砂泥が卓越する上部とに区分される。その境界深度は標高-30m 付近である。同断面図と異なる一つの特徴は、東部に泥・砂泥が分布する層準にウェッジ状の砂体の分布が認められることである。この砂体は、田辺ほか(2006)で砂嘴をなす海成砂体であると推定されている。

比較:田辺ほか(2006)の Y-Y' の断面図(図-11b)は、35.747 地質断面図のほぼ東半分位置が対比できる。本断面図と比較すると、沖積層基底面付近の N 値が田辺ほかでは更新統から沖積層へ漸移的に変化し、両層境界が表現できていないのに対して、本断面図では N 値がその面を介して明瞭に変化していることがわかる。また、標高-25~-10m に分布する海成砂体の形状が大きく異なり、田辺ほかの断面図では基盤の更新統から海成砂体まで砂層相当の N 値が連続するのに対して、本断面図では海成砂体と更新統の基盤との間に N 値 0~6 の泥層が幅広く分布してい

る。田辺ほか(2006)の図-11b では、基盤の更新統の N 値が幅広く影響したものと推定できる。

緯度 35.764 の地質断面図(図-10)

本地質断面図は、その西縁部は武蔵野台地北東縁から広がる埋没段丘面の北縁をかすめ、東方へ、東京低地を横断し下総台地西縁までを横断する。沖積層の大部分は本谷底沿いに分布しており、その東端部付近では、勾配 130/1000(約 8 度)の段丘崖を介して、標高-2m の波食台がわずかに分布する。

更新統は、主に断面図東部にその分布が表現されている。下総台地から段丘崖にかけて更新統は連続しており、主に砂層からなり、砂泥・泥を伴い、ほぼ水平成層している。N 値は砂では 25～50 で-12 以深では 45 以上を示す。

沖積層は、35.718 地質断面図と同様に、淡水成の礫・砂・砂泥・泥からなる下部と海成の泥・砂泥が卓越する上部とに区分される。その境界深度は西端部の-23m から東方へ深くなり、標高-30m 付近となる。一つの特徴は、東縁部の標高-22～-9m において、N 値が 15～20 の砂層がまとまって分布していることである。その N 値は 20～30 であり、隣接する更新統の砂と比べると 20 前後小さい。これは 35.747 地質断面図の海成砂体の延長にあたる。

比較: 田辺ほか(2006)の X-X' の断面図(図-11a)は、35.764 地質断面図のほぼ東半分に位置が対比できる。35.747 地質断面図での検討と同様に、沖積層基底面付近の N 値分布が田辺ほかでは更新統から沖積層へ漸移的に変化し、両層境界が表現できていないのに対して、本断面図では N 値がその面を介して明瞭に変化していることがわかる。また、標高-25～-10m に分布する海成砂体の形状が大きく異なり、田辺ほかの断面図では基盤の更新統から海成砂体まで砂層相当の N 値が連続するのに対して、本断面図では海成砂体と更新統の基盤との間に N 値 0～6 の泥層が幅広く分布している。田辺ほか(2006)の図-11a では、基盤の更新統の N 値が幅広く影響したものと推定できる。

4-2 水平断面図

N 値と土質の平面分布図を、標高 0～-30m までは 5m 間隔、それ以深は-50m まで 10m 間隔で示す(図-12)。本図は産総研の三次元統合システム(試験公開中、作成者:根本達也・木村克己)を利用して作成した。なお、図-12 は Google Map の航空写真を背景図としているため、データの無い場所にはそれが表示されている。また、江藤ほか(2008)は、本件研究地域の南半部について標高-10～-50m の区間を 10m 毎に N 値と土質の水平グリッドモデルを作成している。手法によるグリッドモデルの違いを示すために、江藤ほか(2008)の水平断面図(図-13)と比較検討を加えることとする。

沖積層基底面およびその形状でイメージされている開析谷地形は、沖積層とその基盤をなす更新統とが区分されている土質モデルの図で表現されている。古中川と古荒川が流れる本谷が合流し、古東京川となる本谷の形状は、標高-10m 以深の水平断面図において認められる。-30～-40m にかけては、急速に谷幅が狭くなる。こうした沖積層分布の垂直変化は、35.718 や 35.747 地質断

面図に表示されているように、埋没段丘面・本谷底の地形形状の反映である。標高-30~-10m の水平断面図では、古中川谷に合流する、右岸の古綾瀬川、左岸の古流山川などが認められる。35.747 および 35.764 地質断面図の砂嘴や沿岸砂州は、標高-20~-10m の水平断面図において、南北にのびる砂体を構成している。更新統では、標高-20~-10m の水平断面図では、下総台地側では砂が卓越しているのに対して、大宮台地側では泥が卓越しているという違いが明瞭である。この大宮台地側で卓越する泥は、中澤・遠藤(2002)の層序と比較すると、大宮台地を北西-南東方向に分布する木下層の泥層に対比できる。標高 0m の水平断面図では南部域に人工土が広く分布している。この地域はいわゆるゼロメートル地帯にあたり、同標高はほとんど人工土の盛り土であることを反映したものである。

比較:本研究の水平断面図、特に-15~-30m の同断面図において、その東端部に沿って、東に隣接する下総台地から続く基盤の更新統が南北に連続して分布しており、一方、西端部からは 3 列の基盤の更新統が北西-南東方向に舌状にのびている。これらの基盤の更新統について、江藤ほか(2008)の-20m と-30m の水平断面図(図-13)では、かなりの部分が沖積層として表現されており、本研究で示された沖積層基底面境界付近も N 値、土質ともに漸移的な空間分布となっている。

5. まとめ

本研究では、江藤ほか(2008)で開発・整備されたボーリングデータを用いた N 値・土質のグリッドモデル作成手法について、地層境界であり重要な物性境界をなす沖積層基底面をデータのコントロール位置情報の導入と、土質・N 値との相互依存性の反映をモデルに組み込めるように改良した。その手法で作成したグリッドモデルについて、垂直断面図と水平断面図の事例および既存研究との比較を通して、極めて有効であることを示した。今後、本手法により、都市圏の浅層地盤についてグリッドモデルを順次作成し、地震動評価用、地下水流動評価、および都市整備の指標となる地盤モデルとして利活用できるように研究を進める。

文献

- 青木 滋・柴崎達雄 (1966) 海成”沖積層”の層相と細分問題について. 第四紀研究, **5**, 113-120.
- 遠藤邦彦・印牧もとこ・中井信之・森 育子・藤沢みどり・是枝若奈・小杉正人 (1992) 中川低地と三郷の地質. 三郷市史, 35-111.
- 遠藤邦彦・関本勝久・高野 司・鈴木正章・平井幸弘 (1983) 関東平野の沖積層. アーバンクボタ, no. 21, 26-43.
- 遠藤秀典・相原輝雄・宇野沢 昭・松本英二・富樫茂子(1988)東京低地の本所埋没段丘及びその埋積堆積物の形成年代. 第四紀研究, **28**, 401-405.
- Eto, C., Ishihara, Y., Tanabe, S., Kimura, K. and Nakayama, T., 2007, Three-dimensional models of lithofacies and N-values of alluvial deposits obtained using borehole logs: An example of the latest Pleistocene to Holocene incised-valley fills in northern part

- of the Tokyo Lowland, central Japan. *Jour. Sediment. Soc. Japan*, 64, 9-13.
- 江藤稚佳子・石原与四郎・田辺 晋・木村克己・中山俊雄 (2008) ボーリング柱状図資料を用いた N 値と岩相お 3 次元分布モデル—東京低地北部における沖積層の例—, 地質学雑誌, **114**, 187-199.
- 石原与四郎・木村克己・田辺 晋・中島 礼・宮地良典・堀 和明・稲崎富士・八戸昭一 (2004a) 埼玉県草加市柿木地区で掘削された沖積層ボーリングコア (GS-SK-1) の堆積相・堆積物特性と放射性炭素年代. 地質調査研究報告, **55**, 183-200.
- 石原与四郎・木村克己・中島 礼・宮地良典・田辺 晋・中山俊雄・斎藤文紀 (2004b) 東京低地と荒川低地から得られた 3 本のボーリングコアの堆積相と放射性炭素年代:DK コア(江東区新砂), TN コア(舎人公園), HA コア(東綾瀬公園), 地質調査研究報告, **55**, 221-235.
- 地盤工学会 (1998) 東京の地盤, 遠藤邦彦, 藤本道雄, 清水恵助, 陶野郁雄編, 社団法人地盤工学会ジオテクノート 7, 128p.
- Kaizuka, S., Naruse, Y. and Matsuda, I. (1977) Recent formations and their basal topography in and around Tokyo Bay, central Japan. *Quaternary Research*, **8**, 32-50.
- 木村克己 (2004) 巻頭言: 都市地質研究の展開. 地質調査研究報告, **55**, 181-182.
- 木村克己・石原与四郎(2009) 東京低地付近の沖積層を例とした沖積層研究の新展開, 地質学論集, 地盤工学会会誌, **57**, 4-7.
- 木村克己・石原与四郎・宮地良典・中島 礼・中西利典・中山俊雄・八戸昭一 (2006) 東京低地から中川低地に分布する沖積層のシーケンス層序, 地質学論集, no.59, 1-18.
- 木村克己・石原与四郎・根本達也・康 義英(2010a) 地下地質・地盤の模式柱状図モデル (暫定版) —東京低地北部から中川低地南部地域の例—, 地質調査総合センター研究資料集, no. 528, 31p.
- 木村克己・石原与四郎・根本達也・花島裕樹(2010b)ボーリングデータに基づく沖積低地地盤の三次元地質モデル—東京低地から中川低地の事例—, 日本情報地質学会シンポジウム 2010「三次元地質モデリングの将来への構想」講演論文集, 33-35.
- 国土交通省 (2004) 地質・土質調査電子納品要領(案)平成 16 年 8 月. 135p.
- 国土交通省 (2008) 地質・土質調査電子納品要領(案)平成 20 年 12 月. 135p.
- Matsuda, I. (1974) Distributions of the recent deposits and buried landforms in the Kanto Lowland, central Japan. *Geog. Rep. of Tokyo Metrop. Univ.*, **9**, 1-36.
- 松田磐余 (1993) 東京湾と周辺の沖積層. 貝塚爽平編, 東京湾の地形・地質と水, 67-109, 築地書館, 211p.
- 村上 哲・安原一哉・小峯秀雄・小川寛久(2010)N 値の空間統計量を利用した地盤構造の空間解析, 第 45 回地盤工学研究発表会平成 22 年度発表講演集, 107-108.
- 中西利典・石原与四郎・田辺 晋・木村克己・八戸昭一・稲崎富士 (2007) ボーリング柱状図資料の解釈による中川低地南部の沖積層基底図. 地質調査総合センター研究資料集, no.454, 39p.

- 中澤 努・遠藤秀典 (2002) 大宮地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 41p.
- 大島昭彦・市村仁志・濱田晃之・春日井麻里(2010)地盤 DB に基づく大阪地域の沖積粘土層の土質特性と地域性, 第 45 回地盤工学研究発表会平成 22 年度発表講演集, 79-80.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2009) 関東平野の地下地質・地盤データベース. 産業技術総合研究所研究情報公開データベース DB107, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 田辺 晋・中島 礼・中西利典・石原与四郎・宮地良典・木村克己・中山俊雄 (2006b) 東京都葛飾区における沖積層の堆積相と堆積物物性: 奥東京湾口の砂嘴堆積物の時空間分布. 地調研報, **57**, 261-288.
- 田辺 晋・中西利典・木村克己・八戸昭一・中山俊雄 (2008) 東京低地北部から中川低地にかけた沖積層の基盤地形. 地調研報, **59**, 497-508.
- 東京都土木技術研究所 (1996) 東京都 (区部) 大深度地下地盤図-東京都地質図集 6-. 東京都土木技術研究所.
- 清水恵助 (1972) “沖積層”の土質工学的性質—とくに東京港地区を例として—. 地質学論集, no. 7, 251-266.
- 安田 進・藤堂博明・三村 衛・山本浩司・近藤隆義(2010)全国電子地盤図の Web 公開と利活用について, 第 45 回地盤工学研究発表会平成 22 年度発表講演集, 131-132.
- 防災科学技術研究所(2010) ボーリングデータ処理システム
<http://www.geo-stn.bosai.go.jp/software/boring/index.html>
- 産業技術総合研究所(2010) ボーリングデータ処理システム
<http://gsj3dm.muse.aist.go.jp/software/boring/index.html>
- 防災科学技術研究所(2006)科学技術振興調整費「統合化地下構造データベースの構築」
<http://www.chika-db.bosai.go.jp/>

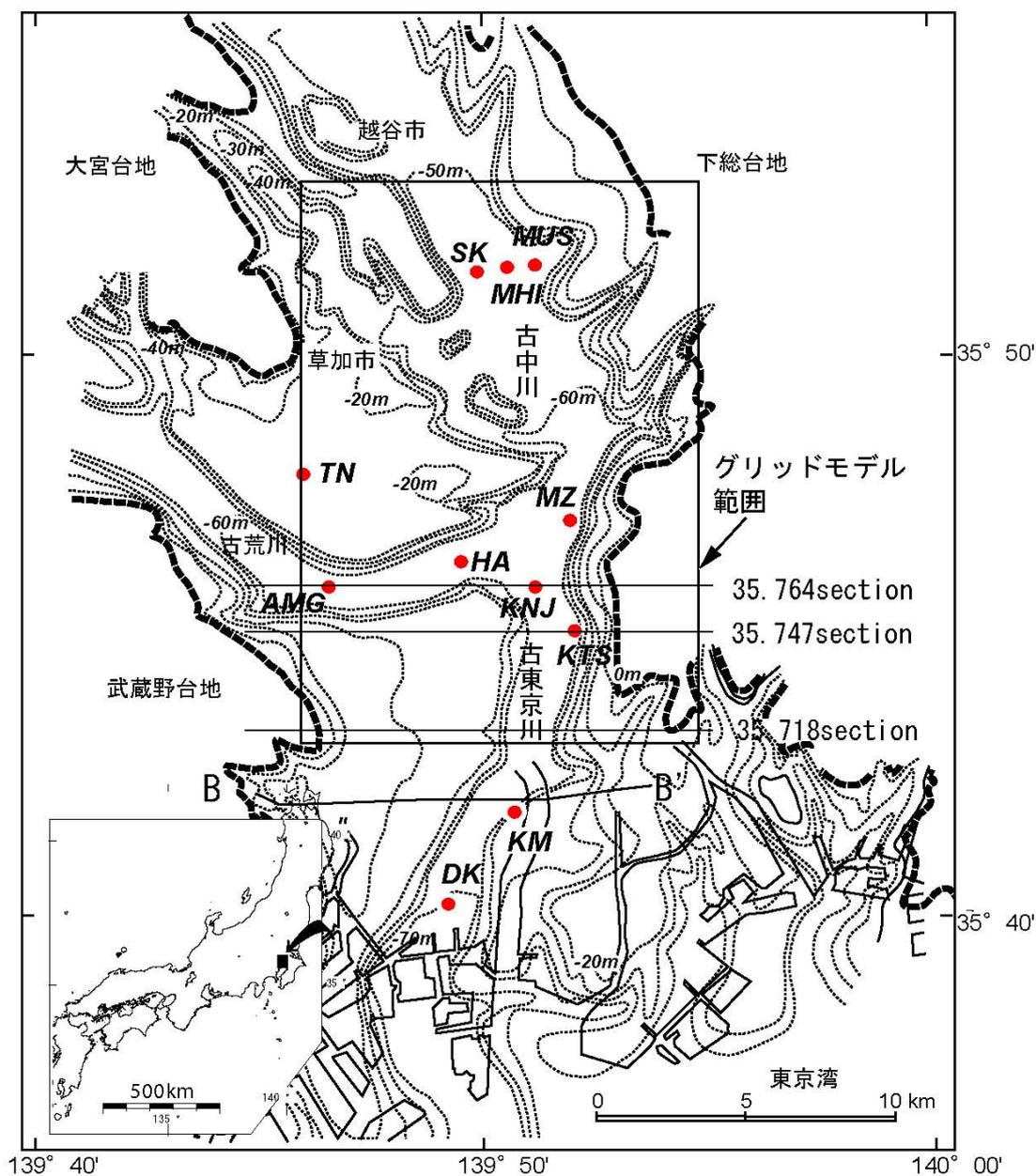


図-1a 東京低地から中川低地付近における層序ボーリングコア地点とグリッドモデルモデル地域の位置図 沖積層基底等標高線は遠藤ほか(1992)に基づいて編集. 石原ほか(2004)から転載し, 一部修正・追記. 層序ボーリングコアは都市地質研究プロジェクトで実施したボーリング調査及びコア解析の地点を示す.

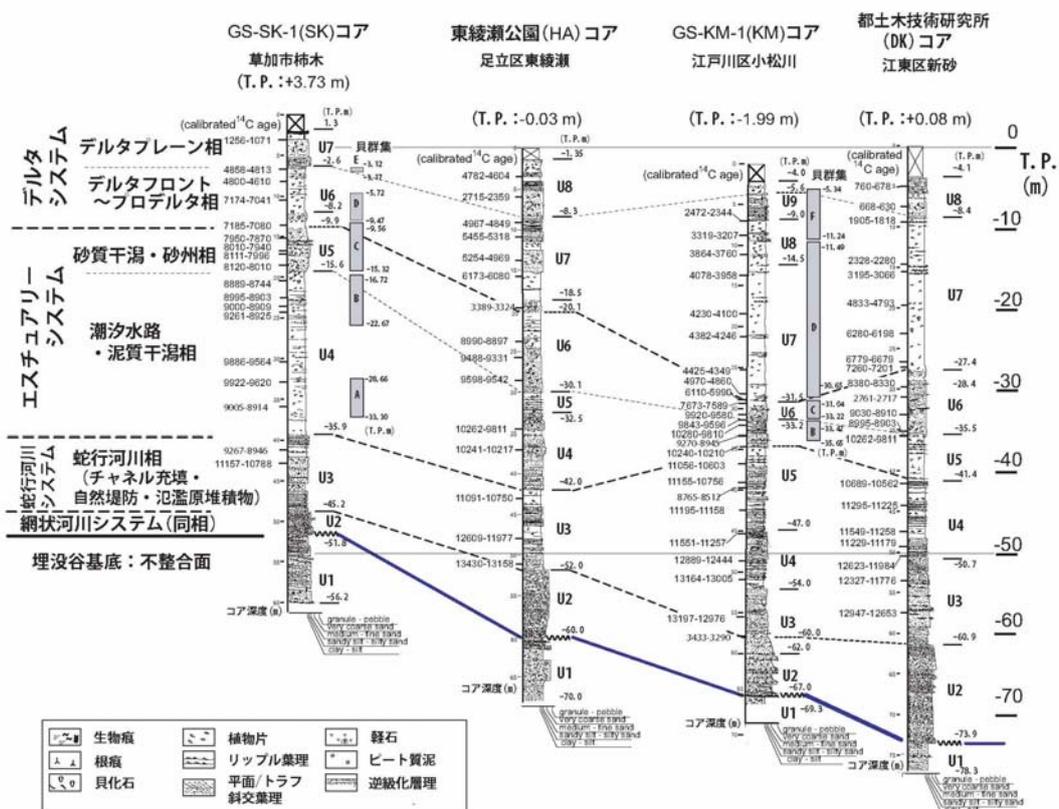


図-3 東京低地および中川低地域のボーリング柱状図の堆積相と堆積システム
(木村ほか, 2006 ; ©日本地質学会)

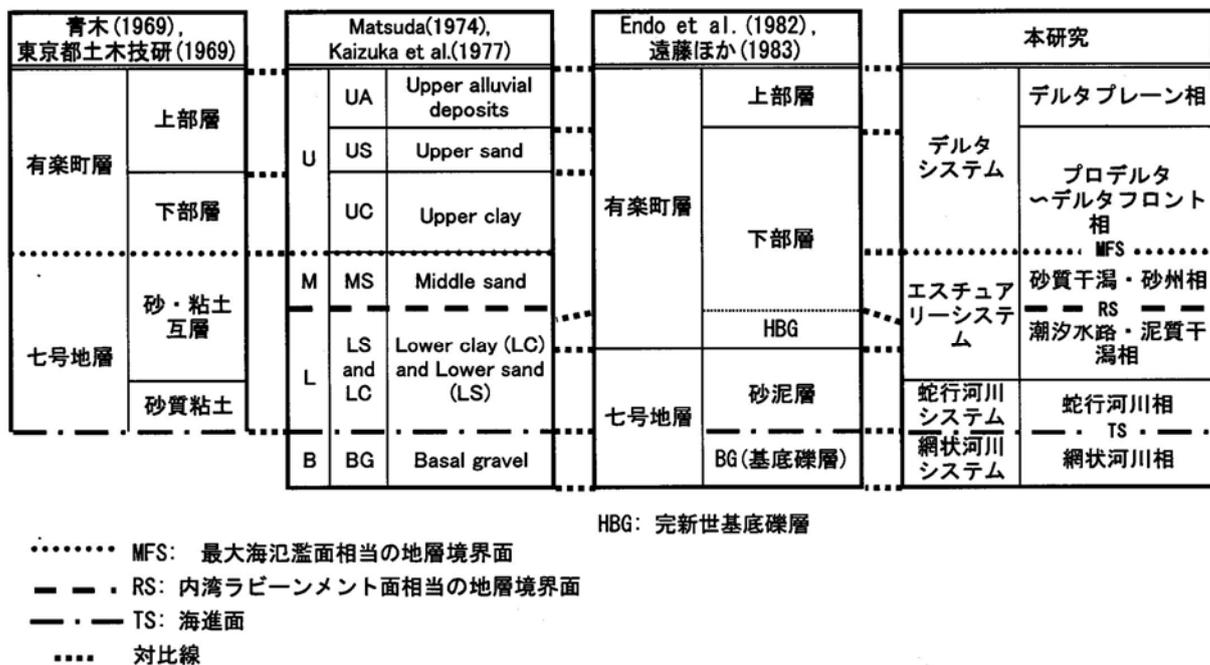


図-4 東京低地および中川低地に分布する沖積層の層序対比図
(木村ほか, 2006 ; ©日本地質学会)

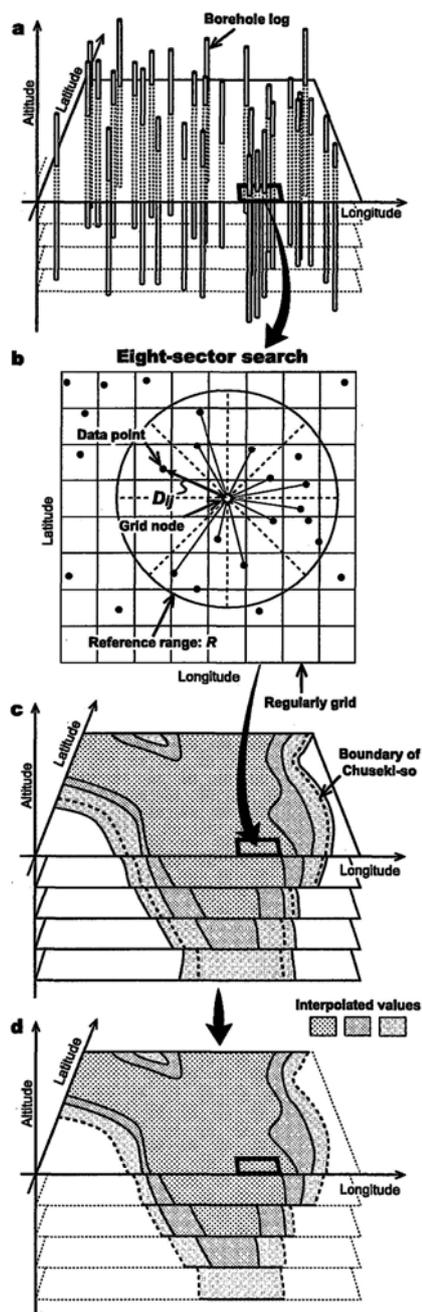


図-5 三次元のグリッドモデル作成の概念図 (江藤ほか, 2008 ; ©日本地質学会)
 a ランダムに分布するボーリング柱状図と補間計算を行う任意の標高の水平面を示す. b
 グリッドノードにおける補間計算のデータ参照法として, 8分割法と参照半径を示す. c 補
 間計算で得られたグリッドノードの2次元水平分布とそれを積み重ねた状態を示す. d 沖
 積層基底面のサーフェスモデルにより沖積層にあたるグリッドノード値を切り出したもの.

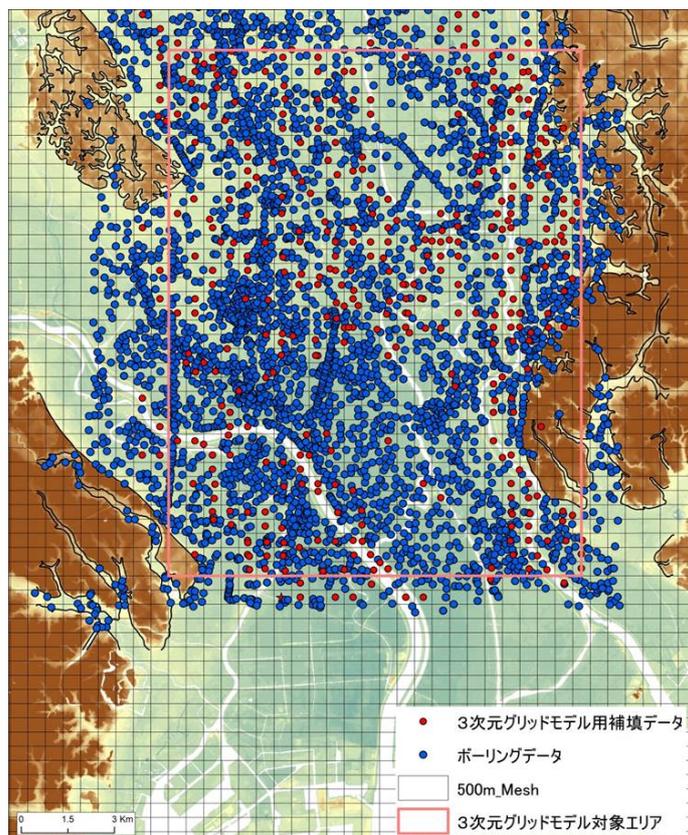


図-6 グリッドモデルで利用したボーリングデータと仮想ボーリングデータの位置図

仮想ボーリングデータは、実データの空白域を補填するために、その地域の地形・地質学的特徴にもとづき、その地質を代表するボーリングデータと考えられる実ボーリング柱状図を近接したボーリングデータより選択したボーリングデータである。本作業では 335 本である。

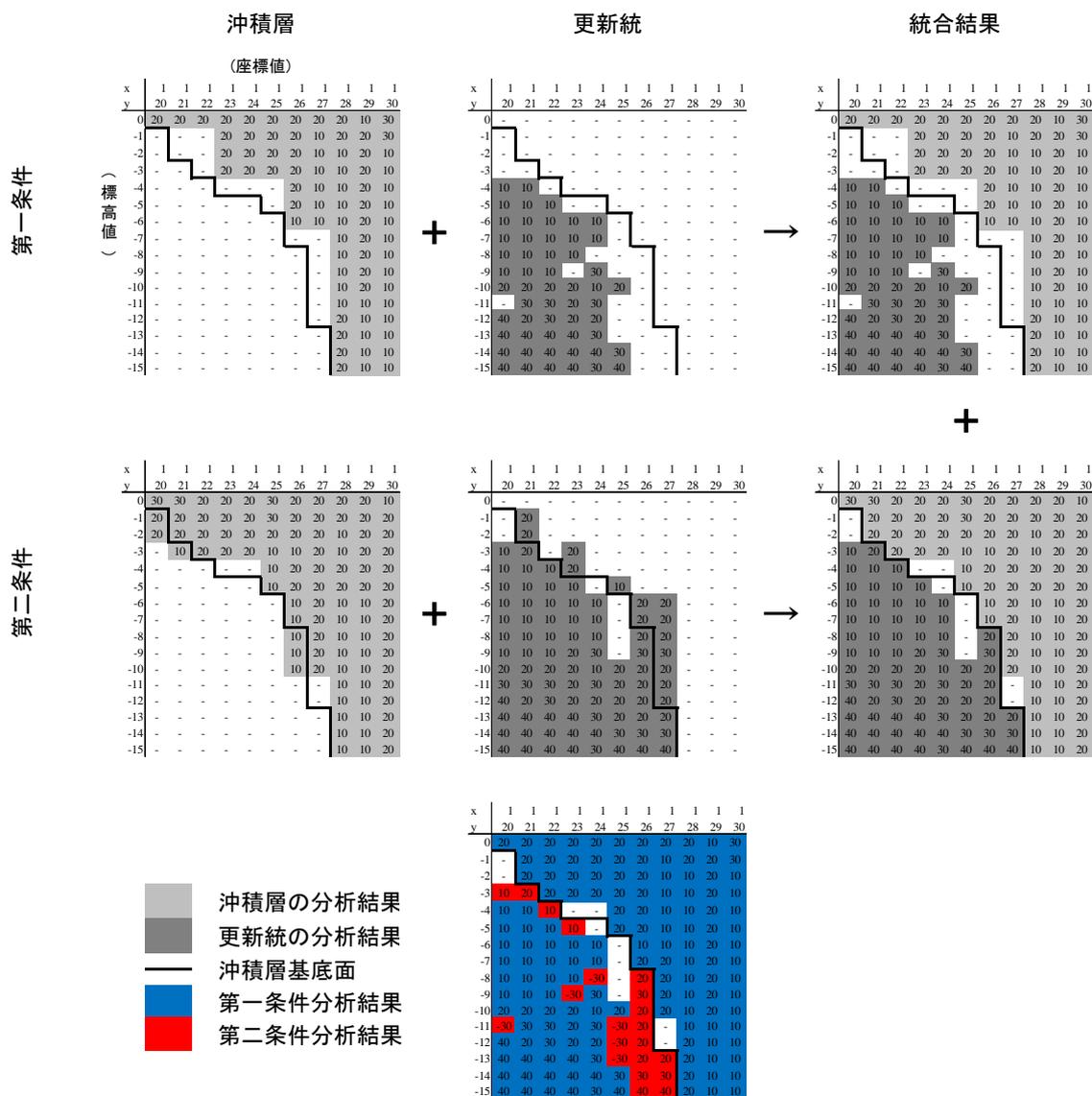


図-7 沖積層とその基盤の更新統のグリッドモデルの統合手順の概念図

上段の図にあるとおり，第一条件と第二条件で得られた両グリッドモデルを別々に統合処理し，そのあとで，下段の図のように，第一条件で得た統合グリッドモデルにおける空きグリッドを第二条件で得たグリッドモデルで補填する。

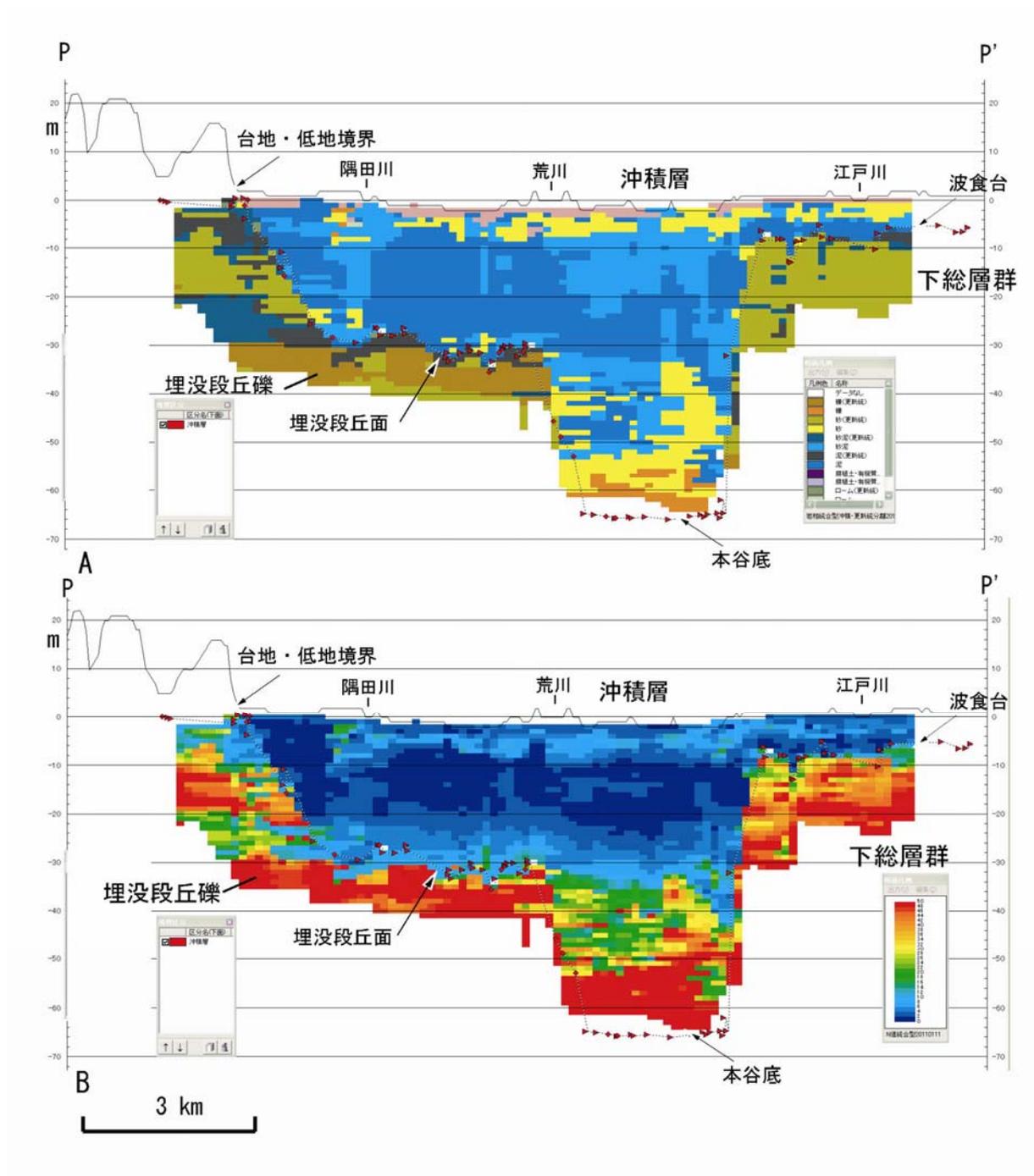


図-8 北緯 35.718 度に沿った地質断面図。
 三次元グリッドモデルより切り取って作成。断面図の位置は図-1 参照

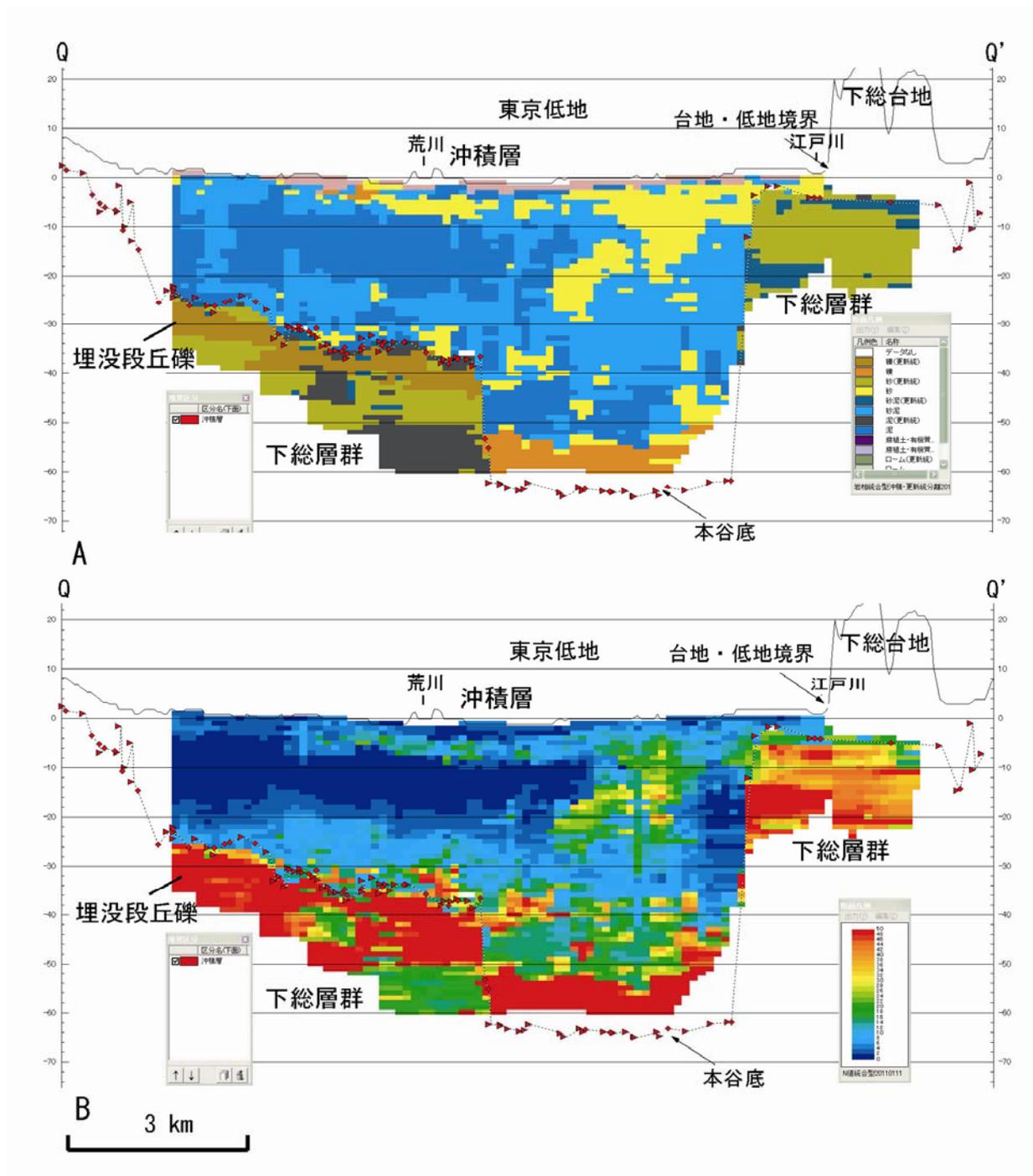


図-9 北緯 35.747 度に沿った地質断面図.
 三次元グリッドモデルより切り取って作成.
 断面図の位置は図-1 参照

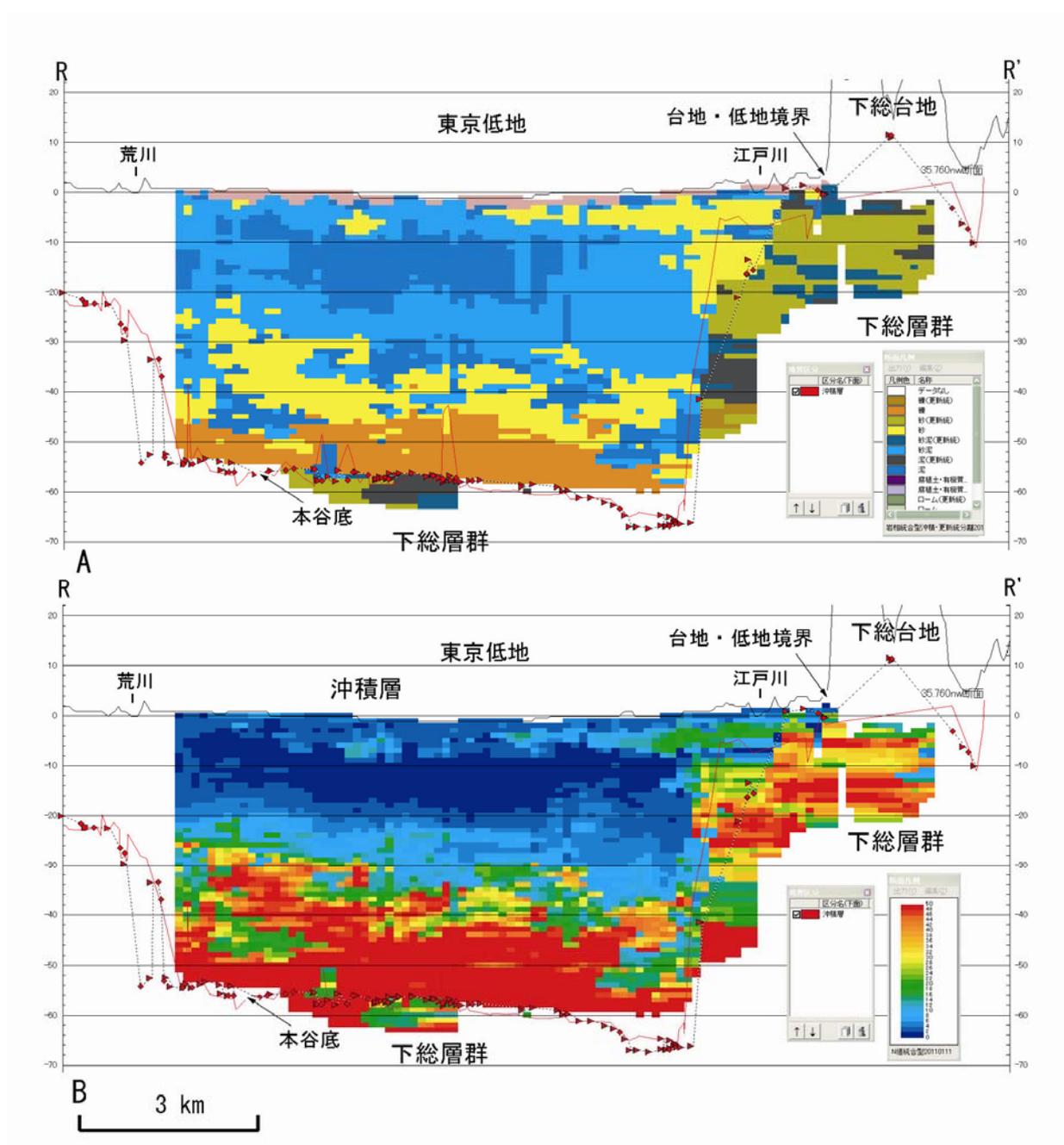


図-10 北緯 35.764 度に沿った地質断面図。
 三次元グリッドモデルより切り取って作成。
 断面図の位置は図-1 参照

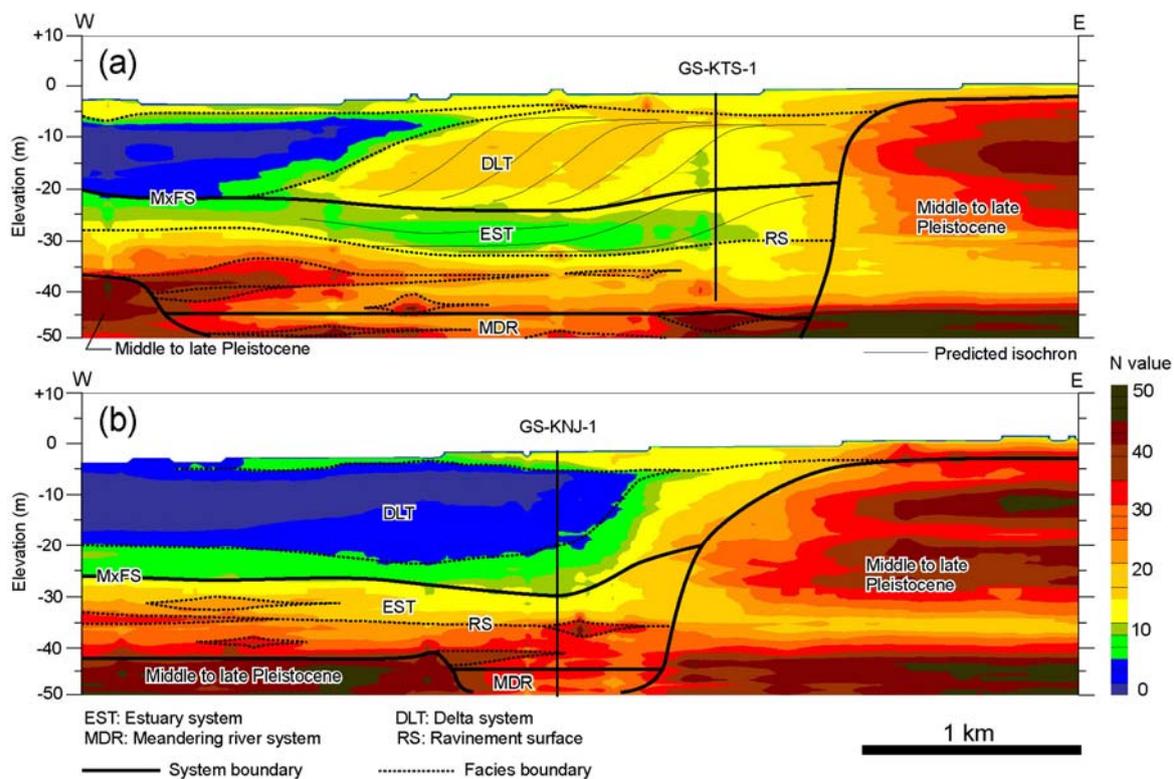


図-11 東京低地東縁における N 値のグリッドモデル断面
 (a) X-X' 断面図, (b) Y-Y' 断面図
 田辺ほか(2006)の第 9 図より転載

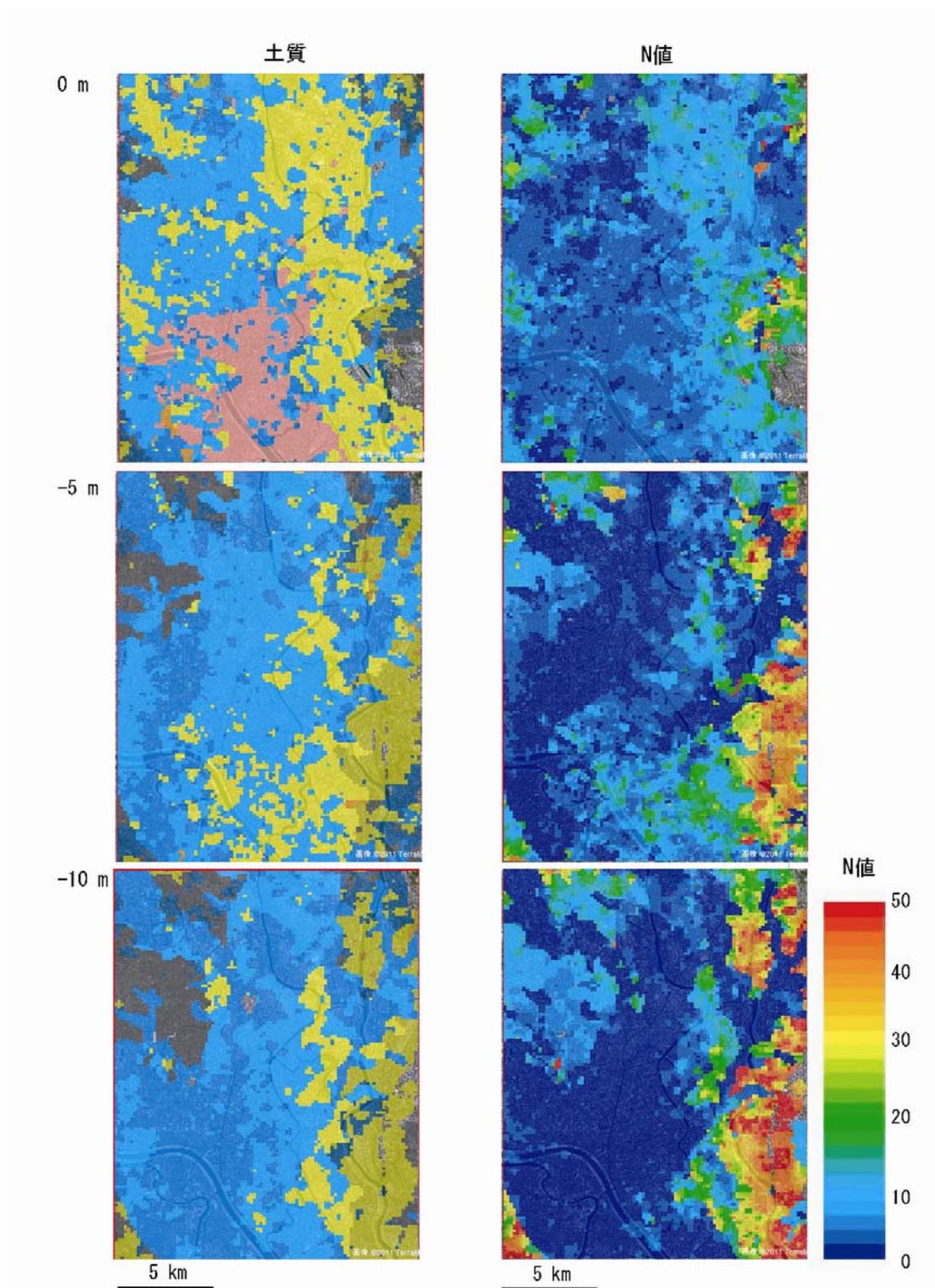


図-12 A-C N値と土質のグリッドモデルから切り出した水平断面図 (A)
標高0mから-30mまでは5m間隔, それ以深は-50mまで10m間隔で示す. 本水平断面図は産
総研の三次元統合システム(試験公開中, 作成者:根本達也・木村克己)を利用して作成.

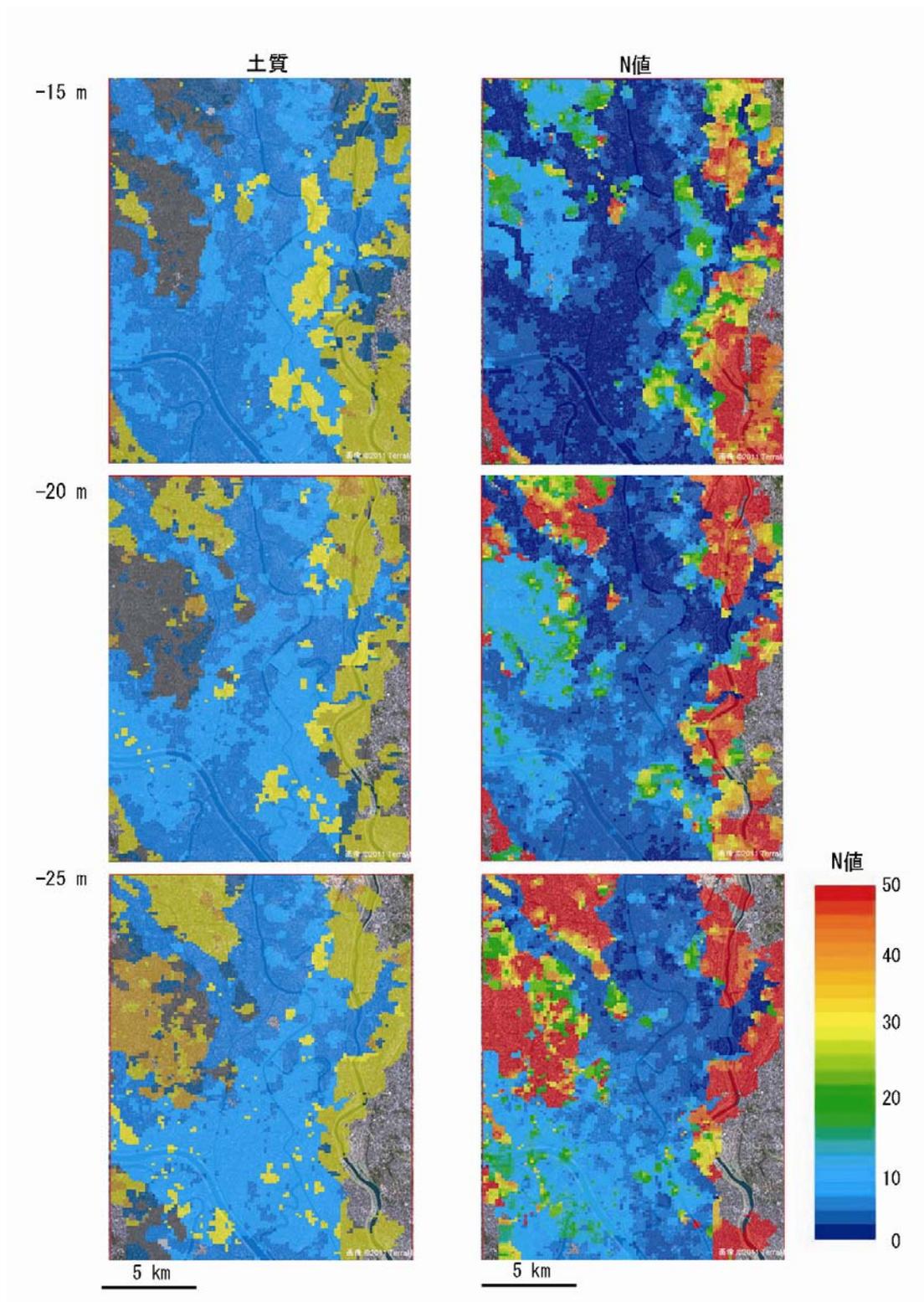


図-12A-C N値と土質のグリッドモデルから切り出した水平断面図 (B)

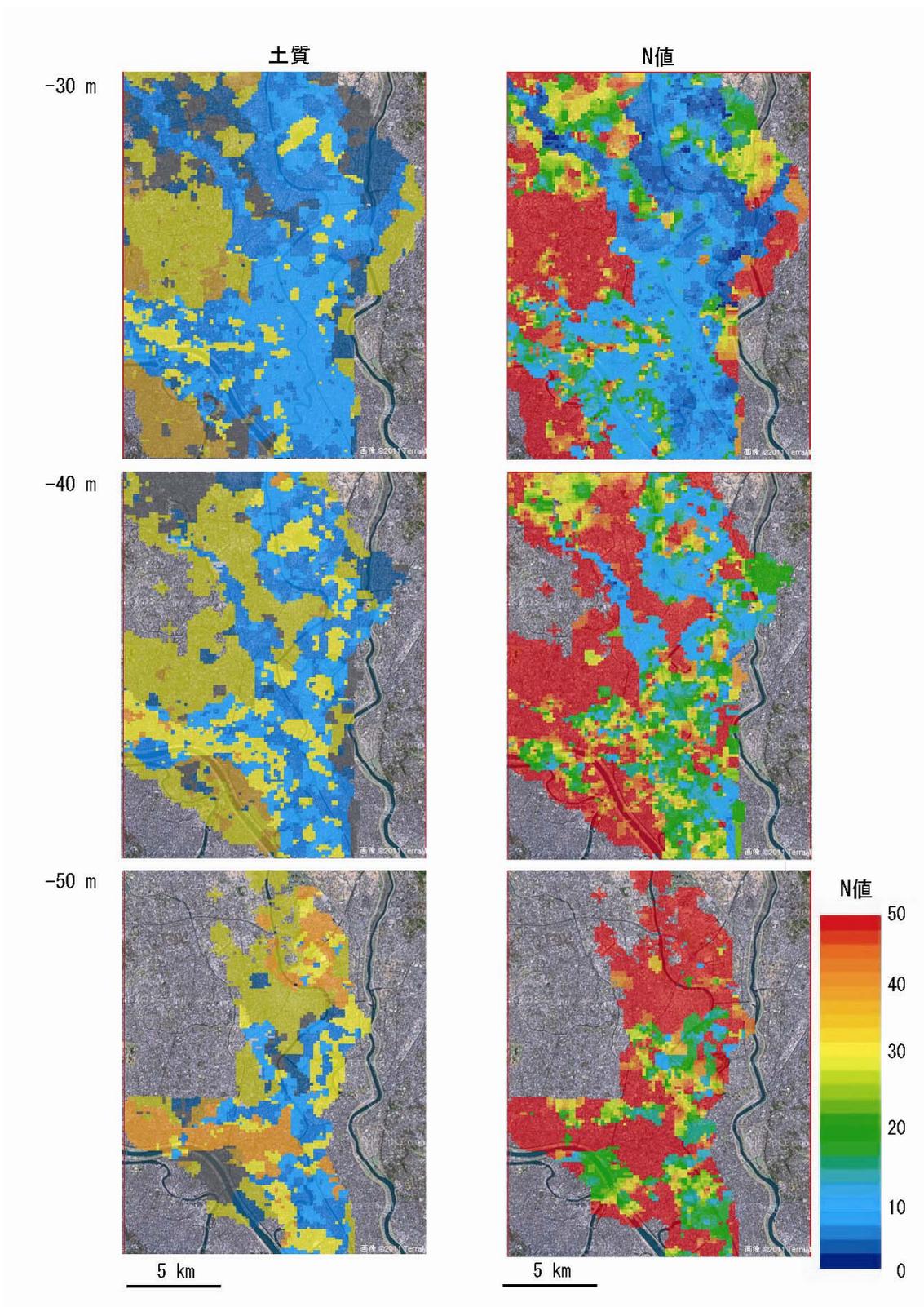
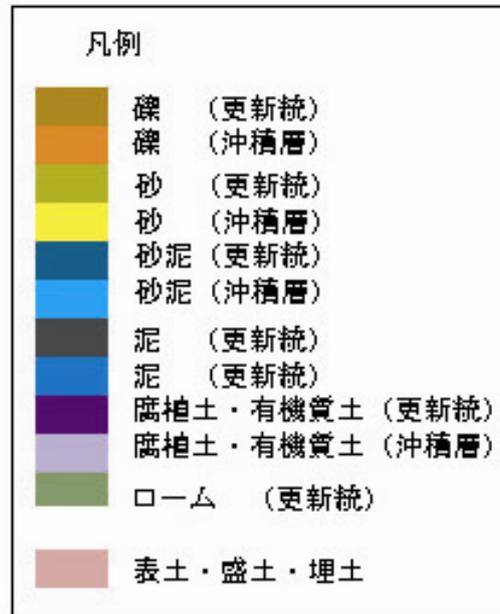


図-12A-C N値と土質のグリッドモデルから切り出した水平断面図(C)



土質の凡例

図-12A-C N値と土質のグリッドモデルから切り出した水平断面図

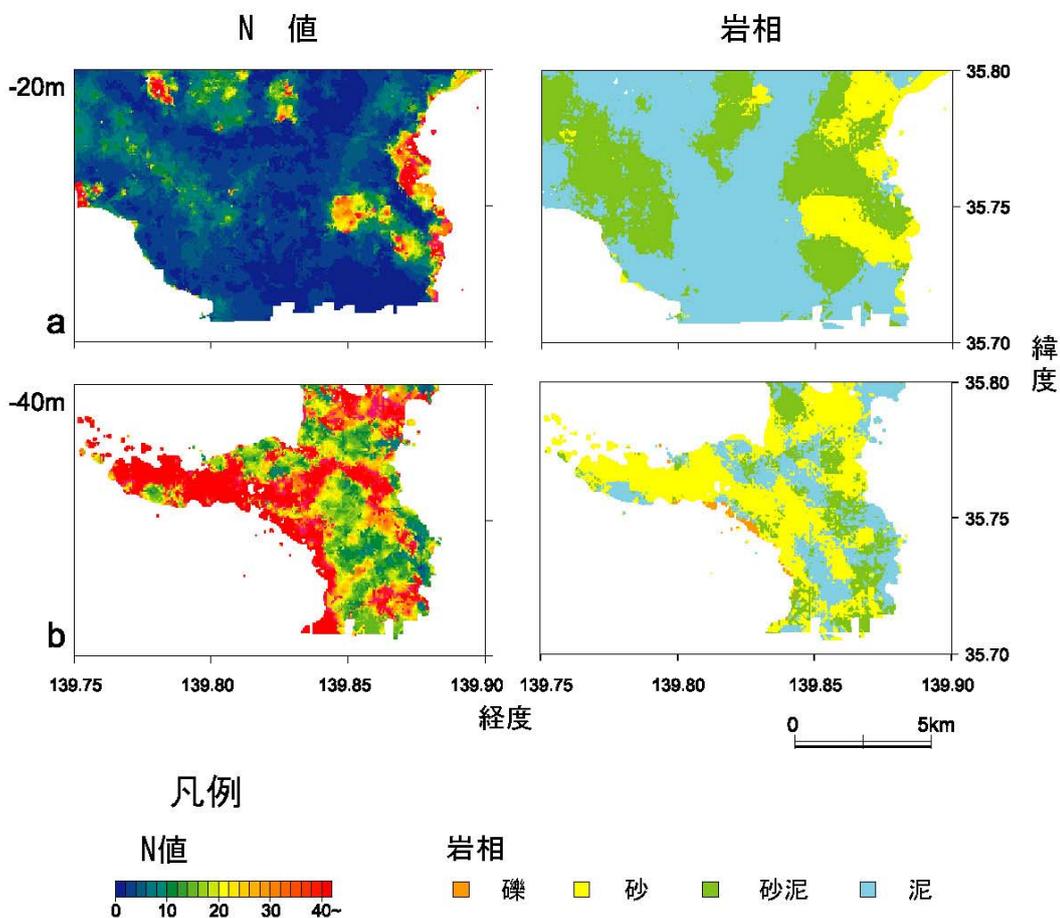


図-13 グリッドモデルより切り出した N 値と土質の水平分布モデル
 (江藤ほか, 2008 の Fig.3 より転載)

表-1 土質名とコード

江藤ほか(2008)		本論		
モデル用土質名	コード	モデル用土質名	地層区分	
			沖積層	基盤の更新統
礫	40	礫	40	41
砂	30	砂	30	31
砂泥	20	砂泥	20	21
泥	10	泥	10	11
腐植土	-50	腐植土	-50	-51
ローム	-80	ローム	-	-80
人工土	-200	表土(-200)	-	-