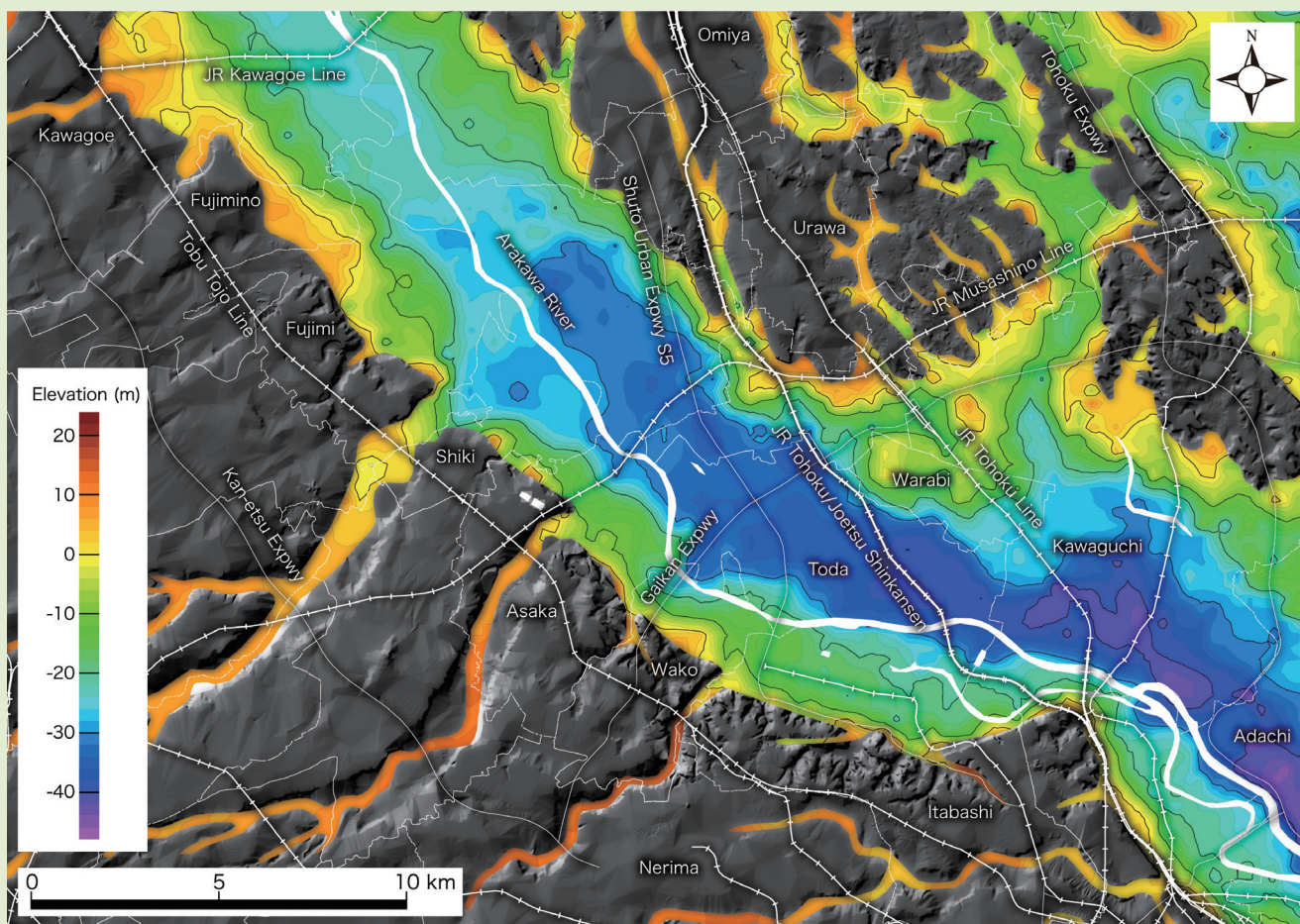


# 地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 65 No. 7/8 2014



論文

荒川低地の沖積層基盤地形  
小松原 純子 ..... 85

概報

XRF major element analyses of silicate rocks using 1:10 dilution ratio glass bead and a synthetically extended calibration curve method  
Toru Yamasaki ..... 97

---

表紙の写真

荒川低地の沖積層の基盤地形

荒川低地は埼玉県東南部の荒川に沿った沖積低地である。荒川はこの図の東(右)側で中川と合流し東京湾に注ぐ。低地の表層を形成している沖積層を取り除くとこの図のような基盤地形が現れる。最終氷期に形成された深い谷と、高海水準期に形成された波食台を見ることができる。2580本の既存ボーリングデータと4本の標準層序ボーリングによって得られたデータを逆距離加重法で補完し作成した。詳細は本号の小松原(2014)を参照。高速道路、行政区域、鉄道のデータは国土交通省の国土数値情報を利用。

(図・文：小松原 純子)

Cover photograph

Basal topography of the latest Pleistocene to Holocene incised valley fills beneath the Arakawa Lowland

The Arakawa Lowland stretches along the Arakawa River in the southeastern Saitama Prefecture. The Arakawa River joins the Nakagawa River on the east (right) side of this figure, and flows into Tokyo Bay. Beneath the postglacial surface deposits, there is a buried basal topography including a deep valley incised during the last glacial maximum and wave-cut benches formed during the Holocene highstand. This figure was illustrated based on 2580 borehole logs and 4 stratigraphic boring surveys, and interpolated by the inverse distance weighting method. See Komatsubara (2014) in this issue for detail. Traces of expressways, administrative divisions and trains are from National Land Numerical Information, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism.

(Figure and Caption by Junko Komatsubara)

## 荒川低地の沖積層基盤地形

小松原純子

Junko Komatsubara (2014) Basal topography of the latest Pleistocene to Holocene incised valley fills beneath the Arakawa Lowland, Kanto Plain, Japan, *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.65(7/8), p85-95, 4 figs, 1 table.

**Abstract:** The basal topography of the latest Pleistocene to Holocene incised valley fills under the Arakawa Lowland, Kanto Plain, central Japan is revealed based on 2580 borehole log data. The base of the valley fills in each borehole log is identified based on soil properties and comparison with the data of all-core sampling surveys. These point data composed of longitude, latitude and elevation of valley fill base are interpolated to describe the basal topography by the inverse distance weighting method. The basal map shows a detailed topography of the paleovalley, including buried wave-cut benches and buried terrace planes. The gradient of the paleovalley floor is approximately 1/1000, which is almost the same as that of the neighboring Nakagawa lowland. In some places around the Omiya upland, it would be very difficult to differentiate the Holocene valley fills from Pleistocene strata with similar properties.

**Keywords:** boring log data, incised valley fill, latest Pleistocene to Holocene, Arakawa Lowland, basal topography

### 要 旨

埼玉県から東京都にかけての荒川低地下に分布する埋没谷の基盤地形を2580本の既存ボーリングデータに基づいて復元した。オールコアボーリングで認定された沖積層の基底を既存ボーリングデータに対比し基底深度分布を求めた。その点データを逆距離加重法で補完した。荒川低地の沖積層の谷の深さ、埋没波食台、埋没段丘面が明らかになった。谷形成時の河床勾配は約1/1000であり平行する中川低地と同じである。大宮台地周辺では沖積層の直下にもよく似た更新世の軟弱な谷埋め地層が分布しており識別が難しい。

### 1. はじめに

東京湾の奥から埼玉県東部にかけての低地は、東京23区東部の東京低地、埼玉県東部の中川に沿った中川低地、埼玉県東部の荒川沿いに分布する荒川低地に区分される。これらの低地の地下には最終氷期に下刻されてきた谷が分布しており、最終氷期から完新世にかけての海水準上昇により、沖積層が堆積して谷が充填され、現在の平坦面が形成された。

谷を充填した沖積層は含水率が高く軟弱なことから、

地震動を増幅させたり、地下水のくみ上げによって地盤沈下を生じさせたりする可能性があるため、その分布を詳細に調べることは都市の防災上重要である。

この地域の沖積層の基盤地形についてはこれまで多くの研究によって検討されてきた。中川・東京低地においては田辺ほか(2008)が数値計算による空間補間を用いて沿岸部を除く大部分の地域で沖積層の基盤地形を復元している。

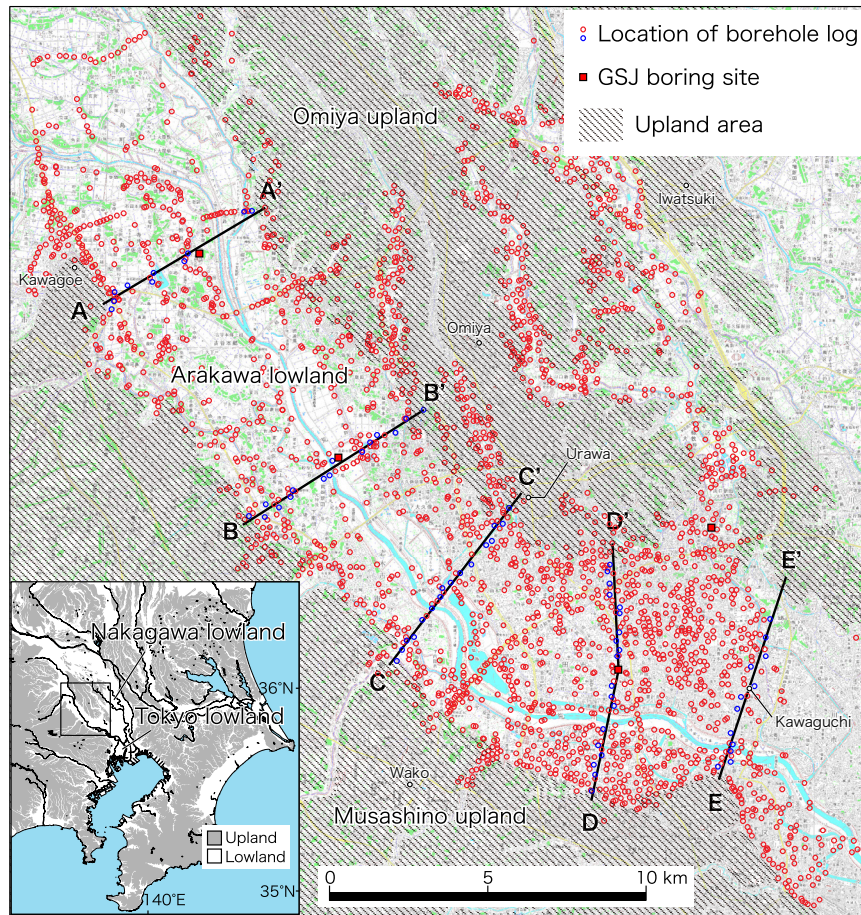
一方、荒川低地地下の沖積層基盤地形は、下流側の一部が田辺ほか(2008)に、入間川との分岐点から上流の地域については石原ほか(2011)によって扱われているのみで、これまで数値計算に基づいた基盤地形の復元は行われていなかった。

本研究では、既存のボーリング柱状図資料およびオールコアボーリングのデータに基づき、荒川低地の沖積層基盤地形を復元した。なお本報告は小松原(2014)で報告された内容のうち、荒川低地部分について詳細を述べたものである。

### 2. 地域概説

本報告の対象地域は荒川低地の埼玉県川口市および東京都北区付近から埼玉県桶川市付近までの地域(第1図)





第1図 既存ボーリング柱状図資料分布，ボーリング掘削地点，および断面図位置。青い円は第3図作成に用いた柱状図を示す。地形図は国土地理院発行の数値地図50000（地図画像）「東京」、台地の輪郭は20万分の1日本シームレス地質図（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2009）を使用した。

Fig. 1 Location map of borehole logs, GSJ boring sites and cross sections. Blue circles show the location of borehole logs used to illustrate Fig. 3. Digital Map 50,000 (Map Image) “Tokyo” published by Geospatial Information Authority of Japan is used as a base map and Seamless digital geological map of Japan (1:200,000) (Geological Survey of Japan, 2009) is used for an outline of uplands.

である。荒川河口から約20～50 kmの範囲である。

埼玉県から東京都にかけての沖積低地においては、沖積層の基盤地形を検討した研究が多くある。これまでの研究で、東京湾沿岸部で沖積層の厚さが70 m以上に達することや、開析谷の谷筋の位置や埋没地形の分布などが明らかになっている。

沖積層の基盤地形をマップとして表した主な研究について、その対象地域を第2図にまとめた。多くの研究では中川低地から東京低地にかけての地域を対象としている。その中でもMatsuda (1974), Kaizuka *et al.* (1977), 松田 (1993), 遠藤ほか (1983, 1988), 田辺ほか (2008) の対象地域には荒川低地の下流域も含まれる。

低地の一部で埋没地形を明らかにしたのものとしては、蕨市周辺の埋没段丘等の分布を明らかにした高原・久保

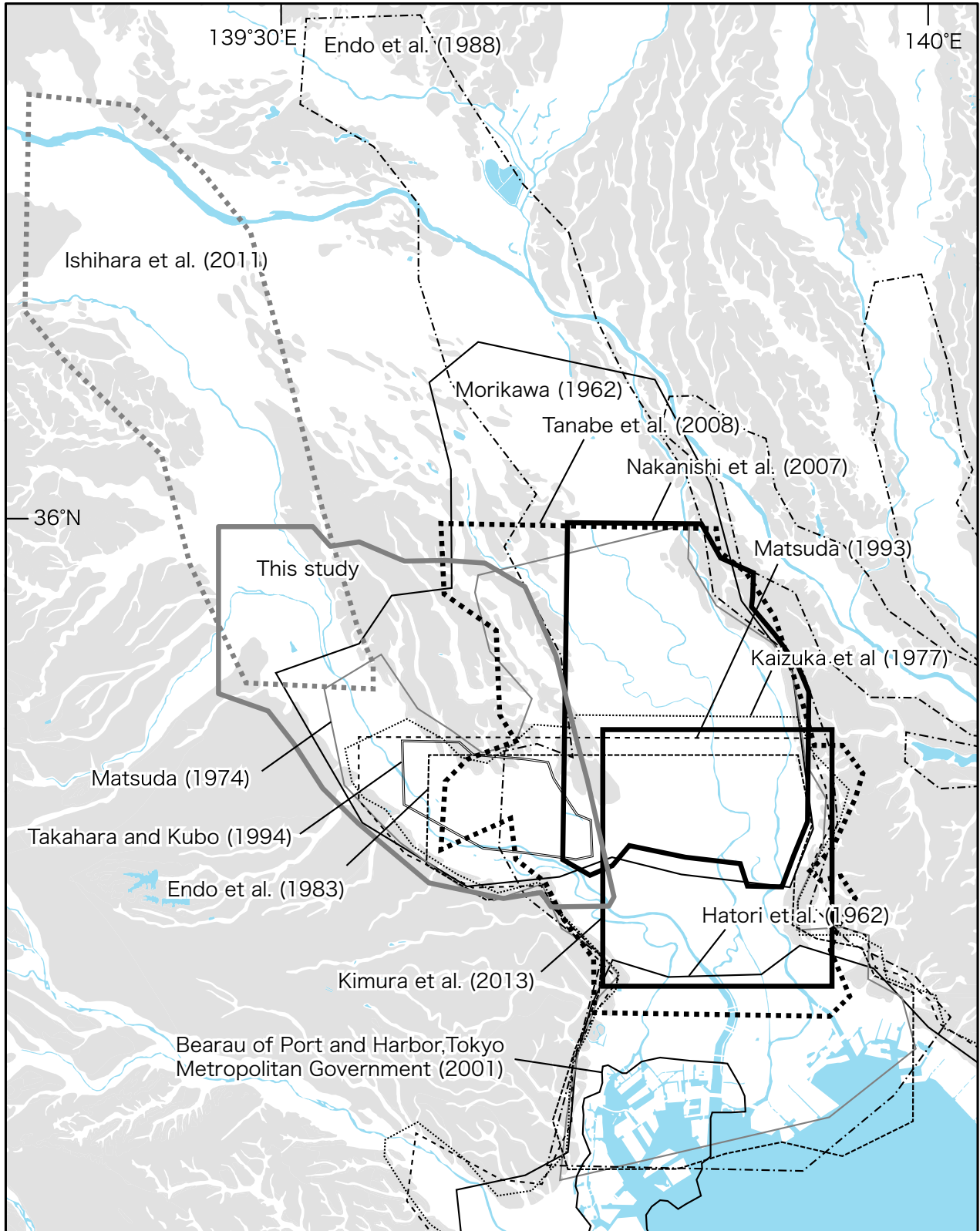
(1994)、荒川低地に注ぐ枝谷の出口で埋没立川面の分布を明らかにした安藤・渡辺 (1992, 1996) がある。石原ほか (2011) は妻沼低地から荒川低地上流域にかけての沖積層基盤地形を明らかにした。

本研究は、石原ほか (2011) が対象とした荒川低地上流域と、それ以外の多くの研究が対象としている荒川低地下流域を繋ぐ地域を対象とした。

### 3. 研究方法

本研究では東京都および埼玉県の自治体等から借用した2580本の既存ボーリング柱状図資料を用いた。内訳は第1表のとおりである。第1図にデータの位置を示す。オールコアボーリングのデータは産総研の都市地質ブ





第2図 既存研究の範囲。台地、水域の輪郭は20万分の1日本シームレス地質図(産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2009)を使用した。

Fig. 2 Areas of previous studies. Seamless digital geological map of Japan (1:200,000) (Geological Survey of Japan, 2009) is used for an outline of uplands and water areas.

第1表 ボーリング柱状図資料の出典・借用機関と基底深度認定に利用した本数。  
Table 1 Data source and the number of borehole log data, which is referred for the base topography reconstruction.

出典・借用機関	本数
国土交通省関東地方整備局荒川上流河川事務所	8
国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務所	27
独立行政法人防災科学技術研究所	2071
独立行政法人土木研究所	14
埼玉県環境科学国際センター	15
埼玉県大久保浄水場	51
さいたま市役所	12
東京都板橋区建築部建築課(1984)	143
川越市水道部(1990)	167
日本国有鉄道東京第一工務局ほか(1986)	22
日本鉄道建設公団東京支社(1974)	22
戸田市史編さん室(1980, 1986)	28
計	2580

プロジェクトで平成18年から22年にかけて掘削したものを用いた(小松原ほか, 2009, 2010a, 2010b; 小松原・木村, 2011 位置は第1図参照)。

ボーリング柱状図のN値および岩相の記載をもとに沖積層の基底面を認定した。既存ボーリングデータの多くは固い地層(N値が50以上の砂礫層)に達したところで掘削をやめているため、基底礫層が存在する地点ではその下面まで達しているものがほとんどない。このため、基底礫層が存在する地点では便宜的に基底礫層の上面を沖積層の基底とみなし、カッコ付で「沖積層基底」と表記する。本研究の対象範囲では、「沖積層基底」と基底礫層の下面とは基底礫層の厚いところで約10mの標高差がある。データが密集しているところは250m四方に1点程度となるよう密度を調整した。

沖積層とそれ以下の地層との区別は、オールコアボーリングの解釈を前提とし、その解釈を土質・N値・地形との関係・側方連続性などに基づいてほかの既存ボーリング柱状図へ外挿した。断面図の作成には産業技術総合研究所および防災科学技術研究所製作のボーリングデータ処理システム(木村, 2011)を用いた。断面線から200m以内の距離にあるデータを投影し、断面線に沿って200m程度の間隔となるよう選択した。

このようにして得られた点データをもとに、ESRI社のArcMapを用いて重み付け係数を2とした逆距離加重法(Franke, 1982)で沖積層の基盤地形を計算した。本研究が対象とした地域の東隣は田辺ほか(2008)に連続するため、基盤地形の計算には田辺ほか(2008)で基盤地形を作成したデータも使用している。なお、田辺ほか(2008)で

も本研究と同様に基底礫層の上面を沖積層の基底と見なしている。

#### 4. 断面図

調査地域で作成した5本の地質断面図(第3図)について、沖積層の基底面付近のN値や岩相について述べ、基底面と判断した根拠を示す。

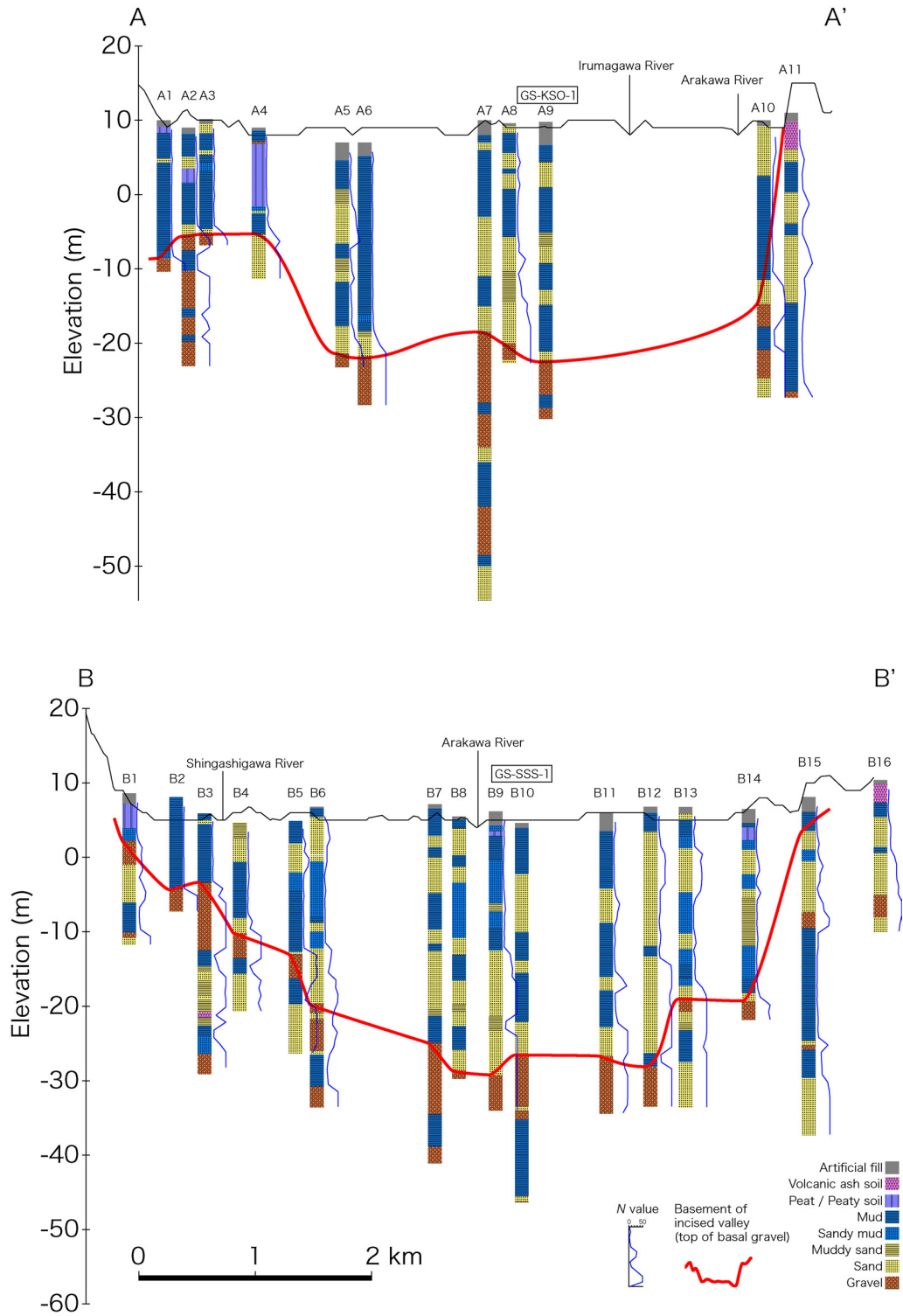
##### 4.1 A-A' (埼玉県川越市仙波～上尾市平方)

記載：本断面図では荒川直下から西側へかけて(A5～10)標高-18.5～-22.0mに上面高度を持つ礫層が分布する。武蔵野台地に近いところ(A1～4)では標高-5.7～-8.6mに上面高度を持つ礫層が分布し、また低地左岸側の大宮台地下(A11)ではこの深度に礫層は分布しない。礫層の上位は暗灰色でN値が0～3の泥層と暗灰～暗青灰色でN値が4～40程度の砂層が互層する。A1～4には黒灰色の腐植層が分布する。A11では泥層は黄灰～青灰色でN値は10以上と高く、表層に火山灰土層(ローム層)が分布する。

解釈：小松原・木村(2011)は埼玉県川越市<sup>しもおいぶくろ</sup>下老袋の川越運動公園で掘削したGS-KSO-1(本断面のA9)の沖積層基底について、<sup>14</sup>C年代測定の結果、層相、および周辺地質との対比から、標高-22.5～-26.9mの礫層を沖積層の基底礫層としている。また沖積層は主に暗灰色、暗青灰色等の暗色でN値の低い軟弱な地層からなり、それに対し更新統以下の地層は褐色、黄褐色等の比較的明るい色でN値の高い固い地層からなるということが経験的

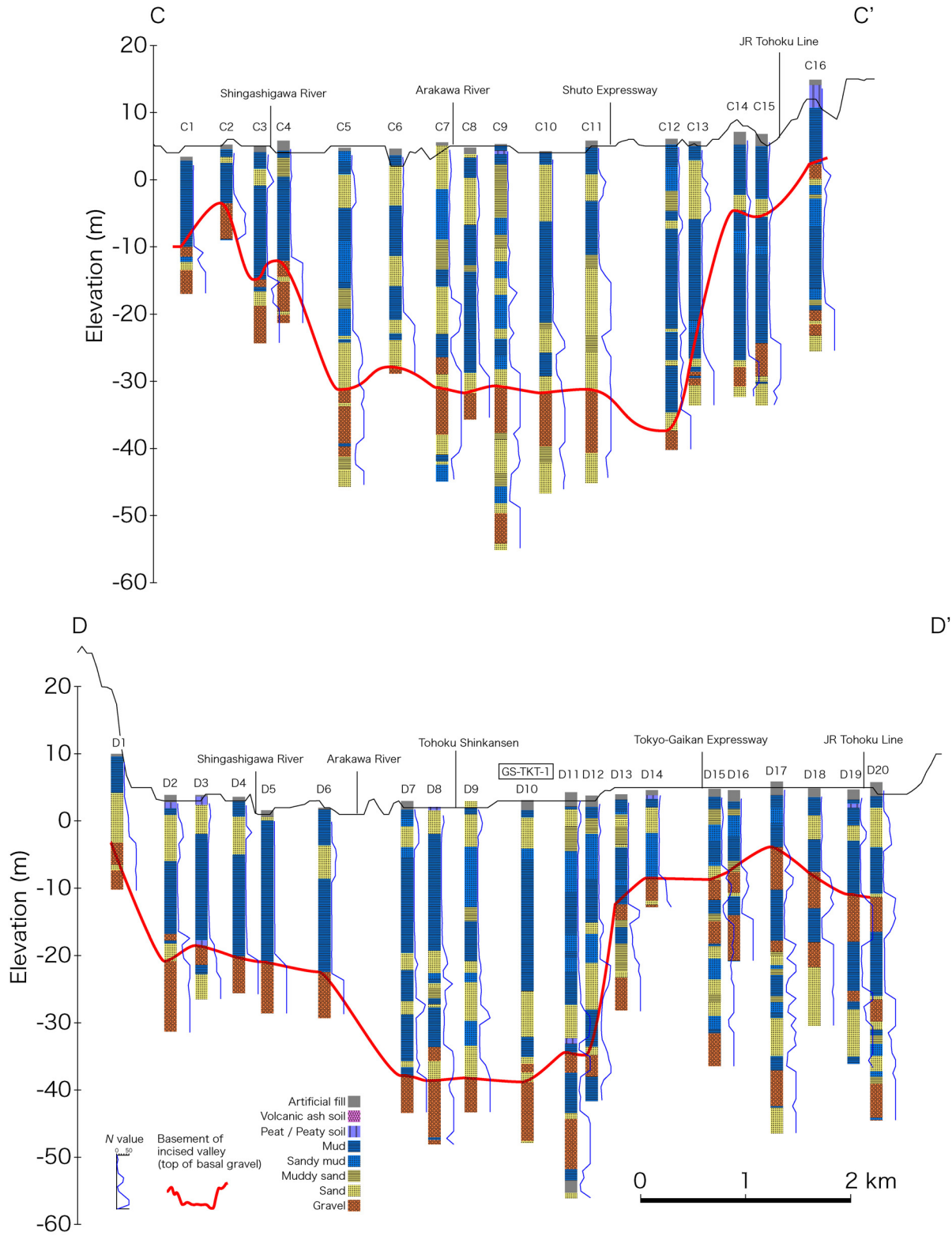


荒川低地の沖積層基盤地形（小松原）



第3図 荒川低地を横断する地質断面図。柱状図は断面線から200 m以内の距離にあるものを投影している。地形は国土地理院発行の数値地図50 mメッシュ（標高）「日本II」を使用。

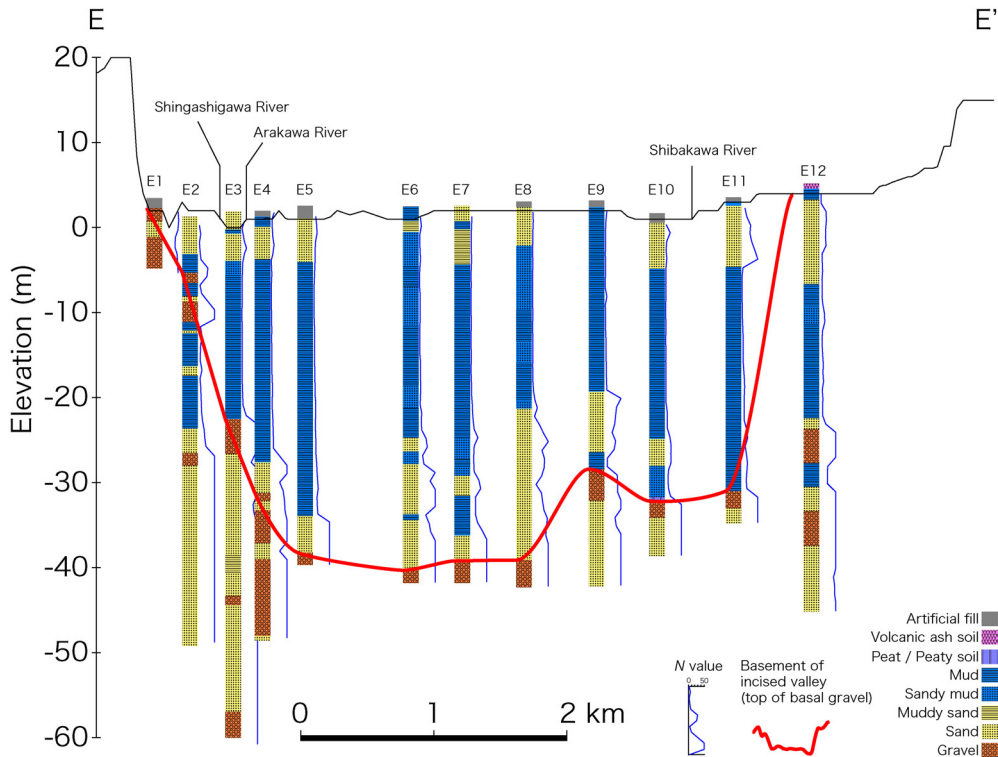
Fig. 3 Geological cross sections in the Arakawa lowland. Borehole logs within 200 m on both sides are projected. Topography is from Digital Map 50 m Grid (Elevation) “Japan II” published by Geospatial Information Authority of Japan.



第3図 つづき  
Fig. 3 Continued.



荒川低地の沖積層基盤地形（小松原）



第3図 つづき  
Fig. 3 Continued.

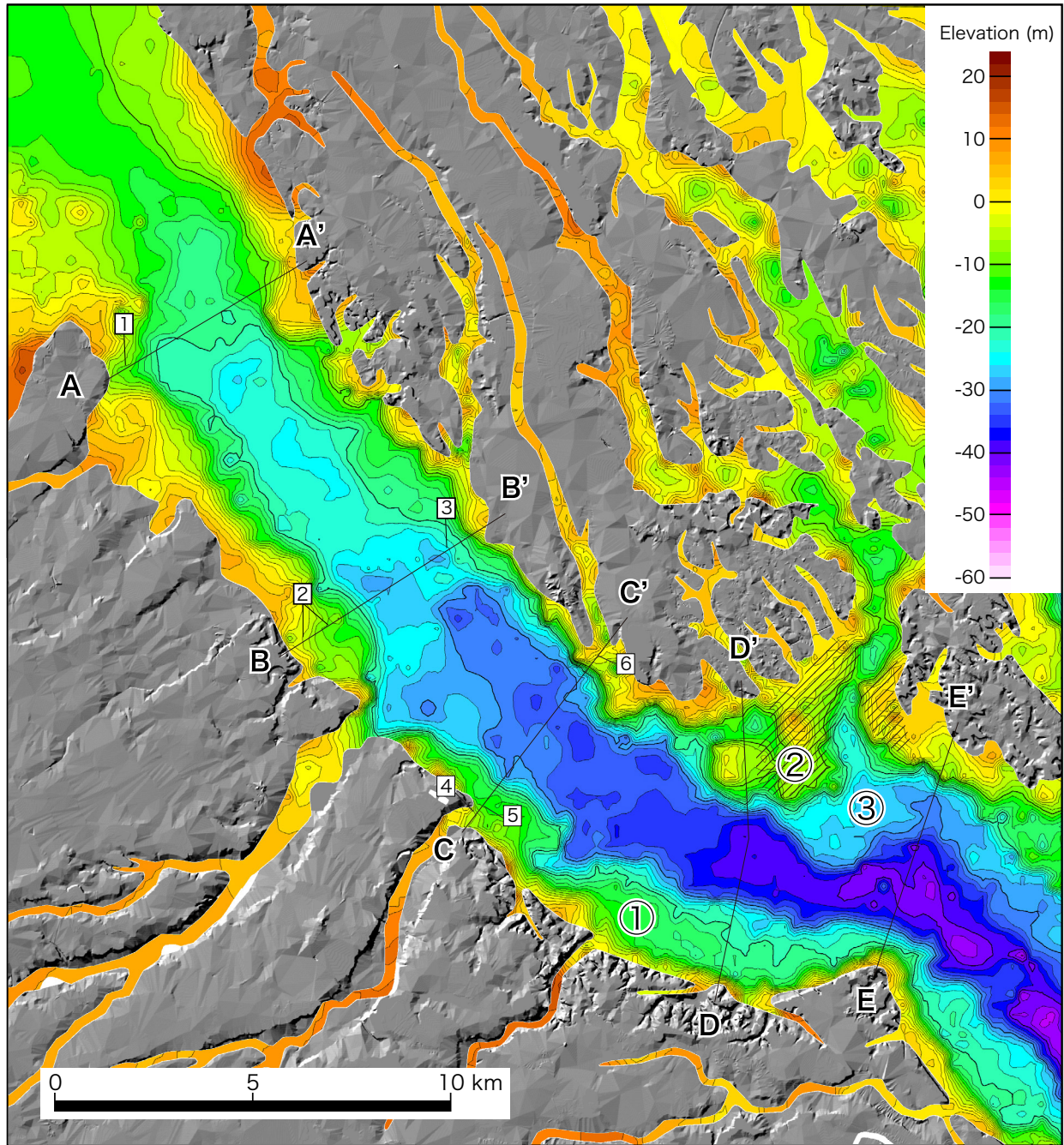
に知られている(羽鳥ほか, 1962など)。以上のことからA5～10に分布する上面高度が標高-18.5～-22 mの礫層は沖積層の基底礫層と考えられ、本断面における「沖積層基底」はA5～10では-18.5～-22.0 mに分布すると考えられる。武蔵野台地に近いA1～4の-5.7～-8.6 mに上面高度を持つ礫層は標高が異なるため埋没段丘礫層と考えられる(第4図の[1])。A11は大宮台地縁辺に位置し表層部がローム層で覆われていることから沖積層は存在せず、ローム層より下位のN値の比較的高い砂泥互層は最終間氷期に形成された下総層群木下層(中澤・遠藤, 2002)と考えられる。

4.2 B-B' (埼玉県富士見市諏訪～さいたま市中央区円阿弥)

記載：本断面図では標高-2.2～-35.2 mに礫層が分布する。その上面の高度は低地の縁辺部で高く、低地の中央部で最も低くなり、荒川を挟んだB8～12で-26.6～-29.2 mと最も低くなる。礫層の上位は主に暗灰色でN値が0～3の泥層と暗灰色でN値が3～40程度の砂層からなる。砂層のN値は低地の中央部では50に達するところもある(B9)。B1では最上部に腐植層が分布する。B15～16では標高-5.1～-9.5 mにN値50前後の礫層が分布し、その下位の泥層は暗緑灰色を呈し、N値は3～9で、他の地

点(例えばB13～14)の同標高に分布する泥層に比べてやや高い。B16では表層にローム層が分布する。

解釈：小松原ほか(2010a)は埼玉県さいたま市桜区の荒川総合運動公園で掘削したGS-SSS-1(本断面のB10)の沖積層基底について、<sup>14</sup>C年代測定の結果、層相、および周辺地質との対比から、標高-26.6～-35.2 mの礫層を沖積層の基底礫層としている。また先に述べたような沖積層と更新統以下の地層の特徴(色調、固さなど)に基づいて、B8～12で標高-26.6～-29.2 mの高度の上面を持つ礫層は沖積層の基底礫層と考えられ、その上面が「沖積層基底」と考えられる。B1の標高-2.2 mからB7の標高-25.0 mまで荒川低地の右岸から左岸へ傾斜し、B13～14で標高-19.1～-19.3 mに上面が分布する礫層はそれよりも標高が高いことから埋没段丘礫層と考えられるが、B2～5、B13～14に埋没平坦面が認められるものの(第4図の[2], [3])、ボーリングデータの密度が十分に高くないためははっきりと面の広がりやを識別するのは難しい。B15～16の標高-5.1～-9.5 mに見られる礫層はB16の表層がロームで覆われることから、更新統中の礫層と考えられる。B15のこの礫層直下の泥層は下総層群木下層の谷埋め堆積物(中澤・遠藤, 2002)と考えられる。B4～5の埋没平坦面は標高分布から安藤・渡辺(1996)のAr2面に対応すると考えられる。



第4図 荒川低地の沖積層の基盤地形。基底礫層が分布している低地中央部では便宜的に基底礫層の上面を「沖積層基底」としている。標高線の間隔は2 m。[1]～[6]、①～③は埋没平坦面であり詳細は本文参照のこと。斜線部は②の平坦面のうち沖積層の基底に礫層を欠く部分。地図の範囲は第1図と同じ。台地の輪郭は20万分の1日本シームレス地質図(産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2009)、地形表現は国土地理院発行の数値地図50 mメッシュ(標高)「日本II」を使用した。

Fig. 4 Topographic map of the valley-fill base in the Arakawa lowland, using an inverse distance weighting algorithm by Arc GIS (ESRI). The valley-fill base is substituted by the upper surface of the basal conglomerate in this study. Contours are at 2 m intervals. [1]～[6] and ①～③ are buried plane surfaces (See text for details). The shaded area is a part of ② surface which lacks valley-fill basal gravel. The map area is the same as Fig. 1. Seamless digital geological map of Japan (1:200,000) (Geological Survey of Japan, 2009) is used for an outline of uplands. Topography is from Digital Map 50 m Grid (Elevation) “Japan II” published by Geospatial Information Authority of Japan.



#### 4.3 C-C'（埼玉県朝霞市浜崎～さいたま市浦和区大戸）

**記載：**本断面図ではC1～4に上面高度-3.5～-14.9 mの礫層が分布する。C5～13には標高-27.9～-41.3 mのところに礫層が分布する。これらの礫層の上位は主に暗灰色でN値が0～10程度の泥層と暗灰色でN値が3～40程度の砂層からなる。泥層のN値は表層近くでは概ね0で、下位ほど緩やかに増加する。砂層のN値は低地の中央部では50に達するところもある（C6～C9）。C14～16では標高-19.45～-30.8 mに礫層が分布し、その直上には暗青灰～暗緑灰色でN値が6前後の泥層が厚く分布する。C16の表層には腐植層が分布する。

**解釈：**沖積層と更新統以下の地層の特徴（色調、固さなど）から、C5～13の標高-27.9～-41.3 mに分布する礫層は沖積層の基底礫層と考えられ、本断面図における「沖積層基底」はC5～13では標高-27.9～-37.4 mに分布すると考えられる。C1～4の標高-3.5～-14.9 mに上面を持つ礫層はそれよりも標高が高いことから埋没段丘礫層と考えられる。C2の埋没段丘面は標高分布から安藤・渡辺(1996)のAr0面、C1,3～4の埋没段丘面は同Ar1面に対応すると考えられる（第4図の[4], [5]）。C14～16の沖積層基底面下位に厚く分布する泥層は色調と固さから下総層群木下層の谷埋め堆積物（中澤・遠藤, 2002）と考えられ、C14～15では標高-5 m付近の砂層の基底が沖積層基底と考えられる（第4図の[6]）。この砂層の基底の平坦面は軟らかい泥層からなり礫層を伴わないこと、および分布深度から、後述する波食台に対比される可能性がある。

#### 4.4 D-D'（東京都板橋区西台～埼玉県さいたま市浦和区南浦和）

**記載：**本断面図ではD1の標高-3.2 m以下、D2～6の標高-18.5～-22.4 m以下、D7～12の標高-34.4～-38.8 m以下、D13～20の-3.9～-12.3 m以下に礫層が分布する。これらの礫層の上位は主に暗灰色でN値が0～10程度の泥層と暗灰色でN値が3～20程度の砂層からなる。泥層のN値は標高-20 mより浅いところではほぼ4以下である。

**解釈：**小松原ほか(2009)は埼玉県戸田市上戸田の東町公園で掘削したGS-TKT-1（本断面のD10）の沖積層基底について、14C年代測定の結果、層相、および周辺地質との対比から、標高-38.8～-47.6 mの礫層および砂礫互層を沖積層基底の礫質河川堆積物としている。また沖積層と更新統以下の地層の特徴（色調、固さなど）から、本断面図における「沖積層基底」はD7～12では標高-34.4～-38.8 mであると考えられる。D1の標高-3.2 m、D2～6の標高-18.5～-22.4 m、D13～20の標高-3.9～-12.3 mに上面を持つ礫層は埋没段丘礫層と考えられる。上面の標高分布から、D2～6の礫層はMatsuda (1974)のT0に、D13～20の礫層は高原・久保(1994)が蕨市付近で記載している埋没段丘面（中位）に相当すると考えられる（第4

図の①, ②）。

#### 4.5 E-E'（東京都北区赤羽～埼玉県川口市新井宿）

**記載：**本断面図では低地中央のE5～8の標高-38.2～-40.3 m以下に礫層が分布する。右岸側の低地縁辺ではより浅いところに礫層が分布し、台地に近いほど浅い。E1～4の礫層上面の標高は標高2.3～-31.2 mである。左岸側のE9～11では低地中央部よりもやや浅い、標高-28.4～-34.1 mに礫層が分布する。これらの礫層の上位には主に暗灰色でN値が0～10程度の泥層と暗灰～暗青灰色の砂層からなる。泥層のN値は標高-20 mより浅いところではほぼ4以下である。砂層は表層近くでN値が低い（10以下）のもの、低地中央部の基底付近に分布するN値が高い（10～50）のものに分けられる。E12では表層にローム層およびローム質泥層が分布する。

**解釈：**沖積層と更新統以下の地層の特徴（色調、固さなど）から、E1～11における「沖積層基底」は低地の中央部（E5～8）で標高-38.2～-40.3 mであると考えられる。右岸側縁辺部（E1～4）で標高2.3～-31.2 m、左岸側（E9～11）で標高-28.4～-34.1 mに上面高度を持つ礫層は埋没段丘礫層であると考えられる。E12は表層がローム層およびローム質泥層で覆われることから、沖積層は分布しないと考えられる。E9～11の礫層は上面の標高分布から、高原・久保(1994)の埋没段丘面（下位）に相当すると考えられる（第4図の③）。

## 5. 沖積層基底面の高度分布

### 5.1 概要

調査地域の沖積層基底面の高度分布は第4図のようになる。小規模な目玉状の凸凹はボーリング柱状図資料の偏りのために生じた見かけ上のものと考えられる。

荒川低地の地下には低地に沿って北西-南東方向に延びる埋没谷が存在する。谷底の幅は概ね3 km程度であり、最も狭いところ（戸田市と川口市の境界付近）で約1 kmである。谷筋での沖積層基底礫層の上面標高は上流から埼玉県川島町白井沼付近で-14 m、さいたま市桜区五関付近で-30 m、川口市のJR川口駅付近で-40 mである。これらの値から算出した河床勾配は約1/1000となり、中川低地の傾斜（田辺ほか, 2008）とほぼ同じである。

### 5.2 埋没平坦面と既存研究との対比

4章で述べたように埋没谷の谷底面以外にも荒川低地には埋没平坦面が存在するが、はっきりとその面の広がりや識別できる埋没平坦面は次に示すとおり荒川低地の下流部分に限られる。これは上流に行くに従って既存ボーリングデータが減り、埋没地形の広がりを識別するのが難しくなるためである。

荒川低地の右岸側、埼玉県朝霞市上内間木から東京都

北区浮間にかけての地域(第4図の①)には礫で覆われた標高-14~-18 mの平坦面が分布する。断面図ではD-D'のD2~6に見られる標高-18.5~-22.4 mの平坦面に相当する。高度分布からMatsuda(1974)のT0に相当すると考えられる。

荒川低地の左岸側、埼玉県蕨市南町から川口市中青木にかけての地域(第4図の②)には一部を礫で覆われた標高-5~-7 mの平坦面が存在する。断面図D-D'のD14~15の礫層上面もその延長に該当する。平坦面の東部分(第4図の斜線部分)では礫層を欠いて下総層群木下層の泥層の上に直接沖積層の泥層が載ることから、高海水準期の波食台と考えられる(Matsuda, 1974; Kaizuka *et al.*, 1977; 貝塚, 1979; 高原・久保, 1994)。

荒川低地の左岸側、埼玉県蕨市北町から川口市芝にかけての地域(第4図の③)には礫で覆われた標高-24~-28 mの平坦面が存在する。標高分布からMatsuda (1974)のT1, 高原・久保(1994)の下位埋没段丘面(立川II面相当面)に相当すると考えられる。

### 5.3 沖積層以外の軟弱層

第3図の断面図C-C', E-E'の左岸側の大宮台地にかかるあたりでは沖積層と更新統下総層群木下層の泥層が接している。年代が異なるものの、両者とも泥質軟弱な谷埋め堆積物であり、既存ボーリングデータからは識別が非常に難しいことがある。

精度の高い地質モデルを作るためには、地層形成時の地形と堆積環境を把握する必要がある。そのためにはオールコアボーリング調査などによって物性のよく似た堆積年代の異なる地層同士を識別する必要がある。

## 6. まとめ

埼玉県の荒川沿いに分布する荒川低地下の沖積層について、自治体等から借用した既存のボーリング柱状図資料と産総研で掘削したオールコアボーリングのデータに基づき基盤地形を復元した。

幅概ね3 kmの埋没谷底と、波食台および立川面に相当する埋没段丘面が認められた。

沖積層直下にも軟弱な地層が分布していることがあるため基盤地形の復元には注意が必要である。

**謝辞:** ボーリング柱状図資料の借用にあたっては以下の機関の方々に便宜を図っていただきました。さいたま市役所, (旧)鳩ヶ谷市役所, 大久保浄水場, 国土交通省関東地方整備局, 同荒川上流河川事務所, 同荒川下流河川事務所, 埼玉県環境科学国際センター, 防災科学研究所, 土木研究所, 東京都土木技術センター。産業技術総合研究所地質情報研究部門の田辺 晋氏には中川低地および東京低地の沖積層基底深度データを使わせていただき

ました。御礼申し上げます。この研究には産業技術総合研究所の運営費交付金「都市地質プロジェクト」(平成17~22年度), 「大都市圏プロジェクトの浅層地盤課題」(平成19~21年度), および科学技術振興調整費「統合化地下構造データベース構築」(平成18~22年度)を使用した。

## 文 献

- 安藤一男・渡辺満久(1992) 武蔵野台地開析谷, 黒目川谷底平野の埋没段丘面と最終氷期後半以降の古環境変遷. 季刊地理学, **44**, 79-92.
- 安藤一男・渡辺満久(1996) 武蔵野台地北部の開析谷沿いにおける埋没地形面群. 第四紀研究, **35**, 281-291.
- 遠藤邦彦・小杉正人・菱田 量(1988) 関東平野の沖積層とその基底地形. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **23**, 37-48.
- 遠藤邦彦・関本勝久・高野 司・鈴木正章・平井幸広(1983) 関東平野の<沖積層>. アーバンクボタ, no.21, 26-43.
- Franke, R. (1982) Scattered data interpolation: test of some methods. *Mathematics and Computation*, **38**, 181-200.
- 羽鳥謙三・井口正男・貝塚爽平・成瀬 洋・杉村 新・戸谷 洋(1962) 東京湾周辺における第四紀末期の諸問題. 第四紀研究, **2**, 69-90.
- 石原武志・須貝俊彦・八戸昭一(2011) 荒川低地中・上流域と妻沼低地における最終氷期の埋没地形面群. 第四紀研究, **50**, 113-128.
- 貝塚爽平(1979) 東京の自然史 増補第二版. 紀伊國屋書店, 239p.
- 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.
- 川越市下水道部(1990) 地下をさぐる 川越地盤図 資料集. 449p.
- 木村克己(2011) ボーリングデータ処理システムの公開-国土基盤情報としてのボーリングデータの利活用を目指して-. 産業技術総合研究所TODAY, 11-2, 19.
- 木村克己・花島裕樹・石原与四郎・西山昭一(2013) 埋没地形面の形成過程を考慮したボーリングデータ補間による沖積層基底面モデルの三次元解析: 東京低地北部から中川低地南部の沖積層の例. 地質学雑誌, **119**, 537-553.
- 小松原純子(2014) 荒川低地・中川低地・東京低地北部における沖積層の基盤地形. 関東平野中央部の地下地質情報とその応用, 特殊地質図, no.40 (CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 51-55.
- 小松原純子・木村克己(2011) 埼玉県川越市下老袋地区か

- ら採取した荒川低地の沖積層ボーリングコア(GS-KSO-1)の堆積相と堆積環境. 堆積学研究, **70**, 93-103.
- 小松原純子・中島 礼・木村克己(2009)沖積層ボーリングコアGS-TKT-1(埼玉県戸田市)の堆積相と堆積物物性. 堆積学研究, **68**, 13-25.
- 小松原純子・木村克己・福岡詩織・石原与四郎(2010a)沖積層ボーリングコアGS-SSS-1(埼玉県さいたま市)の堆積相と堆積物物性. 堆積学研究, **69**, 3-15.
- 小松原純子・中島 礼・木村克己(2010b)埼玉県川口市在家町地区から採取した芝川低地の沖積層ボーリングコア(GS-KZK-1)の堆積相および堆積物物性. 堆積学研究, **69**, 73-84.
- Matsuda, I. (1974) Distribution of the recent deposits and buried landforms in the Kanto Lowland, Central Japan. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*, **9**, 1-36.
- 松田磐余(1993)第3章 東京湾と周辺の沖積層. 貝塚爽平, 東京湾の地形・地質と水, 築地書館, 67-109.
- 森川六郎(1962)埼玉県南平野の地盤地質. 応用地質, **3**, 11-19.
- 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, 24.
- 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). 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 41p.
- 日本国有鉄道東京第一工事局・日本国有鉄道東京第二工事局・日本国有鉄道東京第三工事局(1986)東北新幹線(上野・大宮間)地質図. 53 p.
- 日本鉄道建設公団東京支社(1974)武蔵野(東西)線地質図府中本町-新松戸. 83 p.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター(2009)20万分の1日本シームレス地質図(DVD版). 数値地質図G-16
- 高原勇夫・久保純子(1994)第三章 蕨市とその周辺の地質. 新修蕨市史通史編, 蕨市, 15-37.
- 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. 地質調査研究報告, **59**, 497-508.
- 戸田市史編さん室(1980)市史調査報告書第5集 戸田の地質(1)古環境変遷史・資料. 114p.
- 戸田市史編さん室(1986)市史調査報告書第11集 戸田の地質(2)古環境変遷史・資料. 75p.
- 東京都板橋区建築部建築課(1984)板橋区地盤図土質柱状図集. 418 p.
- 東京都港湾局(2001)新版東京港地盤図. 89p.

( 受 付 : 2014年7月18日 ; 受 理 : 2014年10月28日 )





## XRF major element analyses of silicate rocks using 1:10 dilution ratio glass bead and a synthetically extended calibration curve method

Toru Yamasaki

Toru Yamasaki (2014) XRF major element analyses of silicate rocks using 1:10 dilution ratio glass bead and a synthetically extended calibration curve method. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 65 (7/8), p. 97-103, 1 figure, 5 tables.

**Abstract:** A high dilution ratio glass bead with a sample to flux ratio of 1:10 was prepared for a wide range of major element analyses using X-ray fluorescence spectrometer. Calibration curves were determined from 16 rock standards of the Geological Survey of Japan (GSJ) and 4 synthetic samples employing the software of the instrument. The precision of the calibration curves was sufficiently high, and the reproducibility was of adequate quality when compared to the 1:10 glass bead methods in other institutions laboratories. This method enables the measurement of igneous and metamorphic rocks that have extreme or anomalous bulk chemical compositions.

**Keywords:** X-ray fluorescence spectrometer (XRF), 1:10 glass bead method, calibration curve method, GSJ geochemical reference materials, USGS reference materials, GSJ-Lab, synthetic reference materials

### 1. Introduction

Whole rock major and trace element compositions of geologic rock samples are one of the most fundamental and important data that can be obtained in earth science studies. Recent advances in analytical methods and rapid increases in use of analytical instruments have enabled easy and precise analysis of whole rock sample compositions. In particular, the analytical method using X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF) is the most common owing to several factors: the simple procedure involved in sample preparation, the relatively rapid analysis time, and the machine's stability. Since the latter half of 1990s, trace element XRF analysis using low dilution ratios (1:5 and 1:2) of glass beads have been carried out in many institutes (e.g. Kimura and Yamada, 1996; Kakubuchi *et al.*, 1997; Takahashi and Shuto, 1997; Tanaka and Orihashi, 1997; Nagao *et al.*, 1998). Such a method enabled the analysis of very trace elements such as rare-earth elements. Since this time, the analysis of major to trace elements using single glass beads has continued, although trace elements had been analyzed using pressed powder pellets before that time. In the 2000s, the rapid spread of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) enabled the simultaneous measurement of ppb- and ppt-order multi-elements in larger

numbers than that obtained with XRF. However, XRF analysis is still considered to be the best analytical method for use in major element analysis because of its accuracy and the ease of sample preparation.

In XRF analyses, it is necessary to correct the net count rates of X-rays of the standard samples for inter-element effects (matrix effects), in order to convert X-ray intensity to concentration. The matrix effect increases with the increasing of concentration of elements, and can thus be reduced by dilution. The high dilution ratio method in this study therefore led to a reduction in the matrix effect. At present, therefore, the combined use of major element XRF analysis with a high dilution glass bead method and the application of trace element analysis using ICP-MS is commonly used to obtain whole rock data.

Analysis of whole rock samples using XRF commonly adopts the calibration curve method. In Japan, geochemical reference materials deployed by the Geological Survey of Japan (GSJ), and reference materials from the U.S. Geological Survey (USGS) are generally used as standard samples for use in constructing calibration curves. The composition of most igneous rocks are within the range of these standard samples. However, cumulus gabbroic rocks show a wide range of whole rock compositions in correspondence with the modal abundance of their constituent

minerals. Consequently, on calibration curves, some gabbroic rocks have a composition that is out of the range of these standard samples, although gabbroic rocks have common lithologies. For instance, oxide gabbros, which are relatively common oceanic gabbros, have a composition of 30 wt% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 10 wt% TiO<sub>2</sub> due to the concentration of Fe-Ti oxides (e.g. Blackman *et al.*, 2006). In addition, anomalously high-CaO (~19 wt%) gabbroic cumulates and so-called felsic lithologies (~3 wt% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) are also observed in oceanic gabbros (e.g. Dick *et al.*, 1999). Similarly, cumulates in continental layered intrusions also show high-TiO<sub>2</sub> (~8 wt%), high-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (~27 wt%), and high-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (~30 wt%) whole rock compositions in some cases (e.g. McBirney, 1989; Gleissner *et al.*, 2010). Therefore, in order to analyze the whole rock composition of such samples using the calibration curve method, it is necessary to prepare a standard sample by adding a chemical reagent to a natural standard (e.g. Yoshizaki *et al.*, 1996; Takahashi and Shuto, 1997; Yamamoto and Morishita, 1997; Yamasaki *et al.*, 1999).

It is evident that if a method of analysis gains popularity, to guarantee the quality of data produced, it is necessary to report the analytical method and the precision and reproducibility of analytical data in individual laboratories or scientific research institutions. This paper thus reports an analytical procedure using the glass bead method with XRF (PANalytical Axios) at the GSJ-Lab in GSJ, the analytical results of the USGS reference materials, and the precision of those samples. It is noted that a precise routine analysis of whole rock major elements using XRF in the GSJ-Lab has previously been established (e.g. Togashi, 1989). However, using the method in this paper, it is possible to obtain the whole rock major element composition from 0.5 g of rock powder, and to enable a practically adequate quality of measurement for a wide range of compositions using synthetic standards.

## 2. Standards and sample preparation

### 2-1. Standards

Sixteen geochemical reference materials of the Igneous rock series provided by the GSJ were used to generate the calibration curves (JB-1a, JB-2, JB-3, JA-1, JA-2, JA-3, JG-1a, JG-2, JG-3, JR-1, JR-2, JGb-1, JGb-2, JP-1, JF-1 and JF-2). In addition to these samples, four synthetic samples were prepared by adding chemical reagents to the GSJ standards.

Synthetic standard samples were prepared using the following procedures. For the high contents standard of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub>, 0.1545 g of iron oxide [III] (> 99.9, Wako Pure Chemical Industries Ltd.) and 0.0812 g of titanium oxide [IV] (> 99.0, Kanto Chemical Co. Ltd.) were added to 0.2641 g of JGb-1. For the high contents standard of MnO and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0.0283 g of manganese

Table. 1 Compositions of synthetic standard materials.

	1	2	3	4
wt%				
SiO <sub>2</sub>	23.25	46.23	22.30	90.93
TiO <sub>2</sub>	17.10	1.14	0.27	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.31	13.01	41.33	5.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	38.93	8.16	3.21	0.39
MnO	0.10	5.70	0.06	0.01
MgO	4.18	7.36	2.97	0.01
CaO	6.34	8.68	29.39	0.28
Na <sub>2</sub> O	0.64	2.38	0.44	1.43
K <sub>2</sub> O	0.13	1.19	0.03	1.90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	6.14	0.01	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

1: High TiO<sub>2</sub> & Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*, 2: High MnO & P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,  
3: High Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CaO, and 4: High SiO<sub>2</sub>  
samples. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* denotes total Fe as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

oxide (> 99.0, Kanto Chemical Co. Ltd) and phosphorous oxide [V] (>98.0, Wako Pure Chemical Industries Ltd.) were added to 0.4498 g of JB-1b. The standard of high contents in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CaO, and the low content in SiO<sub>2</sub> was prepared using the addition of 0.1503 g of aluminum oxide (>99.97, Wako Pure Chemical Industries Ltd.) and 0.1131 g of calcium oxide (> 99.9, Wako Pure Chemical Industries Ltd.) to 0.2366 g of JGb-2. Silicon dioxide (0.2997 g; >99.9, Wako Pure Chemical Industries Ltd.) was added to 0.2002 g of JG-2 as the highest SiO<sub>2</sub> standard. Bulk compositions of the synthetic standards were recalculated using actual weight measurements. Recalculated compositions of synthetic standard materials are shown in Table 1.

### 2-2. Sample Preparation

Glass beads were prepared using the following methods. The alkali flux used in this study was a lithium tetraborate (Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>: MERK Co. Ltd., Spectromelt A10, #10783). The flux was ignited at 700°C for 2 h prior to weighing, and cooled in a desiccator. Standard samples were then weighed in a ceramic crucible and ignited in a muffle furnace for 2 h at 900°C.

Glass beads were prepared by mixing 0.5 g of powdered rock sample, or a mixture of rock sample and a chemical reagent(s), and 5.0 g of the flux (10 times the amount of the standard powder sample). The mixture was put into a platinum crucible (95% Pt-5% Au alloy) and two drops of lithium bromide aqueous solution (LiBrH<sub>2</sub>O: H<sub>2</sub>O = 1:1) were added as exfoliation agent. Fusing and agitation were carried out with an automated high frequency bead sampler (Tokyo Kagaku Co. Ltd. TK-4500); at 120 s pre-fusion (~1070°C), 180 s fusion (~1070°C), and 180 s agitation.



Table 2 Analytical conditions.

Element	Line	Angle(2 $\theta$ )			Target	Filter	Crystal	Detector	Collimator (mm)	PHA	kV	mA	Counting time (sec)	
		peak	BG1	BG2									peak	BG
Si	K $\alpha$	109.047	-2.202	2.300	Rh	None	PE(002)	PC	300	24-78	50	50	40	40
Ti	K $\alpha$	86.163	-2.654	2.535	Rh	None	PX10	PC	300	22-76	50	50	40	40
Al	K $\alpha$	144.842	-3.901	2.697	Rh	None	PE(002)	PC	300	33-73	50	50	40	40
Fe	K $\alpha$	57.514	-2.221	2.271	Rh	None	PX10	Duplex	300	6-77	50	50	40	40
Mn	K $\alpha$	62.980	-2.241	1.803	Rh	None	PX10	Duplex	300	34-69	50	50	40	40
Mg	K $\alpha$	22.962	5.838	-	Rh	None	PX1	PC	700	21-78	50	50	40	20
Ca	K $\alpha$	113.136	-4.064	3.469	Rh	None	PX10	PC	300	30-70	50	50	40	40
Na	K $\alpha$	27.753	2.950	-	Rh	None	PX1	PC	700	27-80	50	50	50	20
K	K $\alpha$	136.721	-5.765	5.385	Rh	None	PX10	PC	300	29-74	50	50	50	20
P	K $\alpha$	140.913	-5.235	4.981	Rh	None	Ge (111)	PC	300	20-77	50	50	50	40

PHA: Setting of pulse height analyzer.

### 3. Analytical Method

#### 3-1. Analytical Conditions

XRF analysis was carried out using the PANalytical Axios at the GSJ-Lab in GSJ. A Rh anode X-ray tube was used and K $\alpha$  line was measured for all elements. There was no obvious interfering spectrum for any major elements observed. Ip/Ib (net over background intensity, or signal/noise; S/N) ratios for all elements were adequately high, and X-ray intensities at both lower and higher angles against a peak position were used for background corrections, except for Mg and Na. For Mg and Na, one point at a higher angle against a peak position was used to avoid overlapping the slope of the adjacent peak. Positions of peaks, backgrounds, and analyzing crystals were settled, and the conditions for the highest X-ray intensity were obtained. Tube currents and voltages were 50 mA and 50 kV, respectively. Measurement time for all major elements per one sample was approximately 13 min. Instrumental conditions for each element are shown in Table 2.

#### 3-2. Calibration and matrix corrections

Calibration curves for each element using GSJ geochemical reference materials and synthetic standards with chemical reagent added to the GSJ standards are shown in Figure 1. Chemical compositions of GSJ standard Rocks Samples except for JB-1b are after Imai *et al.* (1995), and that of JB-1b are after Terashima *et al.* (1998). The calibration curves were calculated using software equipped with PANalytical Axios, and the linear functions were adopted for all elements. Matrix corrections were also carried out using software equipped with the instrument, and the de Jongh model was adopted. Table 3 shows the compositional range covered by calibration curves and their accuracy for each element. The accuracy of calibration curves in this study is at the same level as that reported using other instruments (e.g. Tsuchiya and Hasenaka, 1995; Takahashi and Shuto, 1997; Tanaka and Orihashi, 1997; Nagao *et al.*, 1998).

Although the accuracy of SiO<sub>2</sub> is relatively larger than that of other elements due to an extreme expansion of the compositional range in relation to synthetic standards, it is not considered to be a severe problem on a practical level.

#### 3-3. Detection limits and reproducibility

For the calibration curve method, lower detection limits (LLD) are essentially defined by the lowest concentration of standard samples for each element. In the cases of TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> used in this study however, the lowest content in the standards is <0.1 wt%. Therefore, in this case analytical reproducibility could have affected the quantitative analytical result.

Table 4 shows the average composition of analysis repeated 10 times for JB-1b and its standard deviation. Repeated continuous analysis was carried out in order to avoid instrumental drift and to examine counting error of the instrument. This short-term reproducibility of essentially the same condition reveals the accuracy of the instrument in repeat analysis. The standard deviation of the analysis repeated 10 times was less than 0.04 wt%, particularly with elements of a lower concentration such as TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, which were less than 0.01 wt%. Those values were sufficiently smaller than the accuracy of the calibration curves, and thus in the cases of TiO<sub>2</sub>, MnO, MgO, K<sub>2</sub>O and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, the values of accuracy of the calibration curves of those elements are substantially defined as LLD.

### 4. Analytical results of reference materials and precision

In order to estimate the precision of analytical results for unknown samples, six samples of the USGS reference materials were measured, in addition to the standard samples used for generating the calibration curves. The analytical results, refer-

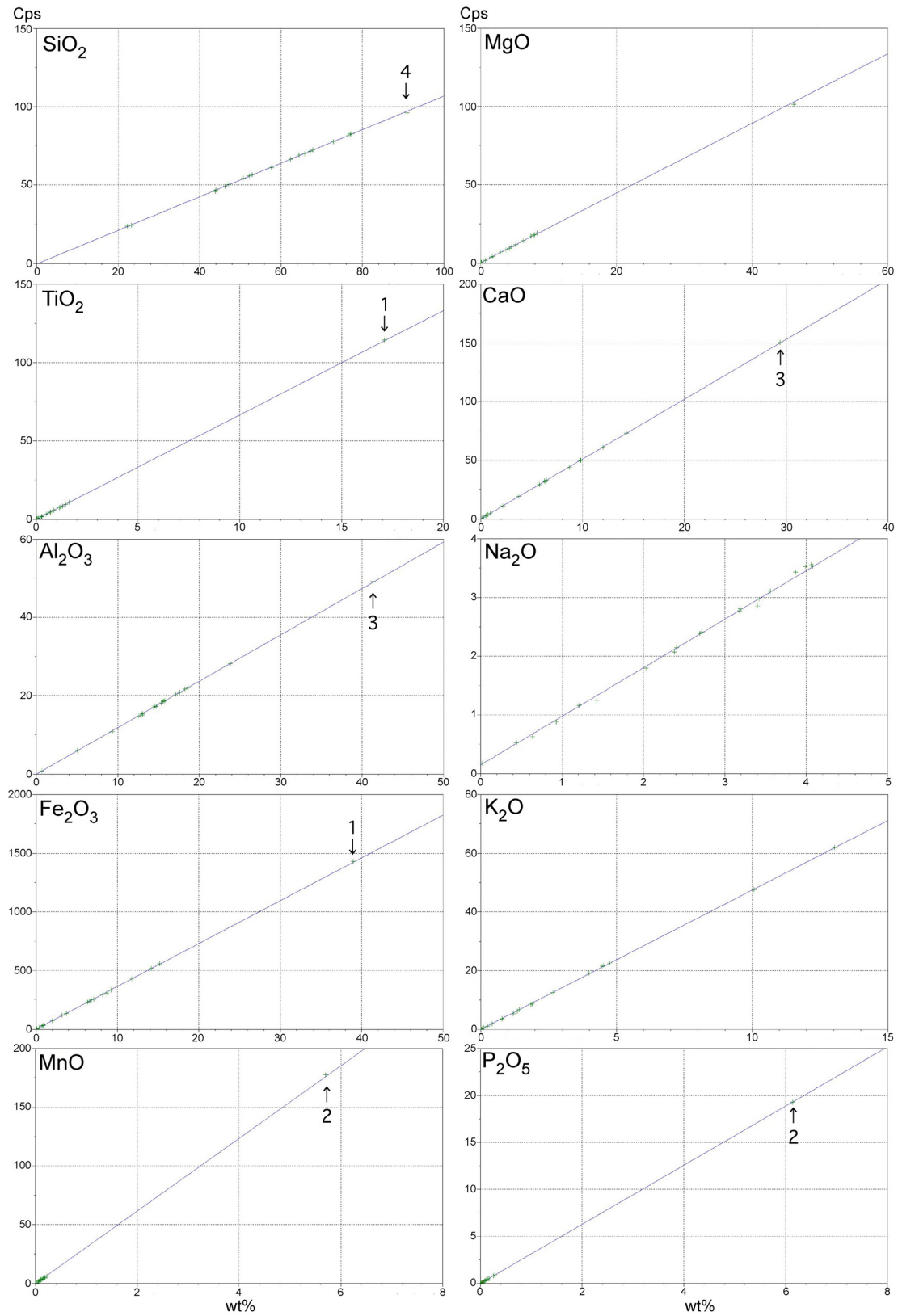


Fig. 1 Calibration curves for major element oxides. X-ray intensities after background and matrix corrections are plotted against concentration of each element. Arrows denote synthetic standard materials and the numbers correspond to numbers in Table 1.

Table.3 Compositional range and accuracy of calibration curves.

wt%	Lower limit	Upper limit	Accuracy (wt%)
SiO <sub>2</sub>	23.25	90.93	0.36
TiO <sub>2</sub>	0.01	17.10	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.03	41.33	0.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	0.06	38.93	0.10
MnO	0.00	5.70	0.01
MgO	0.00	46.12	0.19
CaO	0.09	29.39	0.06
Na <sub>2</sub> O	0.02	10.84	0.06
K <sub>2</sub> O	0.00	13.03	0.04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	6.14	0.01

Accuracy =  $\{\Sigma(\text{Cm}-\text{Cr})^2/(\text{n}-2)\}^{1/2}$ , Cm : measured value, Cr : recommended value and n: number of samples. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* denotes total Fe as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

ence values, and relative deviation are shown in Table 5. Most of the results show a relative deviation of less than 0.1 wt%, and the largest relative deviation is 0.31 wt% at SiO<sub>2</sub> of BIR-1. This value is smaller than the accuracy of the calibration curve, and within the standard deviation of reference value reported (Gladney and Roelandts, 1987; Table 5). Therefore precision of this method can be regarded as sufficient at a practical level.

## 5. Summary

An adequate quality of XRF major element analysis (PANalytical Axios) was obtained using a 1:10 dilution glass bead method with a 0.5 g sample of rock powder. Using the calibration curve method with 16 samples of GSJ geochemical reference materials and 4 synthetic samples prepared by addition of chemical reagents into GSJ standards enabled the quantitative analysis of a wide range of compositions (SiO<sub>2</sub> 23.25-90.93 wt%, TiO<sub>2</sub> 0.02-17.10 wt%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5.03-41.33 wt%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.06-38.93 wt%, MnO 0.01-5.70 wt%, MgO 0.19-46.12 wt%, CaO 0.09-29.39 wt%, Na<sub>2</sub>O 0.06-10.84 wt%, K<sub>2</sub>O 0.04-13.03 wt%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.01-6.14 wt%).

## Acknowledgement

I am grateful to M. Mikoshiba (Institute of Geology and Geoinformation, GSJ, AIST) for assistance in making glass bead and XRF operation. Also thank to T. Shimizu and M. Mikoshiba (Institute of Geology and Geoinformation, GSJ, AIST), and J. Maeda (Division of Natural History Sciences, Hokkaido University) for obtaining chemical reagents and standard samples.

Table.4 Reproducibility and precision of JB-1b.

wt%	R.V.	R.V.S.D.	Average (n=10)	S.D.	R.D.
SiO <sub>2</sub>	52.226	0.11	52.565	0.036	0.339
TiO <sub>2</sub>	1.288	0.03	1.266	0.003	0.022
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.694	0.07	14.545	0.022	0.149
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	9.217	0.07	9.121	0.004	0.096
MnO	0.150	0.001	0.140	0.000	0.011
MgO	8.318	0.06	8.586	0.009	0.268
CaO	9.810	0.06	9.773	0.007	0.036
Na <sub>2</sub> O	2.687	0.02	2.715	0.010	0.028
K <sub>2</sub> O	1.349	0.01	1.311	0.003	0.038
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.262	0.005	0.261	0.001	0.001
Total	100.000	-	100.282	-	-

R.V.: reference values by Terashima *et al.* (1998), R.V.S.D.: standard deviation for reference values (n = 20) by Terashima *et al.* (1998), S.D.: standard deviation, R.D.: relative deviation of averaged measured values from reference values. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* denotes total Fe as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## References

- Blackman, D.K., Ildefonse, B., John, B.E., Ohara, Y., Miller, D.J., MacLeod, C.J. and the Expedition 304/305 Scientists (2006) *Proc. IODP, 304/305*, College Station TX (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.). doi:10.2204/iodp.proc.304305.2006.
- Dick, H.J.B., Natland, J.H., Miller, D.J., *et al.* (1999) *Proc. ODP, Init. Repts.*, **176** [CD-ROM]. Available from: Ocean Drilling Program, Texas A&M University, College Station, TX 77845-9547, U.S.A.
- Gladney, E. S. and Roelandts, I. (1987) 1987 compilation of elemental concentration data for USGS BIR-1, DNC-1 and W-2. *Geostand. Newsl.*, **12**, 63-118.
- Gladney, E. S. and Roelandts, I. (1988) 1987 compilation of elemental concentration data for USGS BHVO-1, MAG-1, QLO-1, RGM-1, SCO-1, SDC-1, SGR-1 and STM-1. *Geostand. Newsl.*, **12**, 253-362.
- Gladney, E. S., Jones, E. A., Nickell, E. J. and Roelandts, I. (1992) 1988 compilation of elemental concentration data for USGS AGV-1, GSP-1 and G-2. *Geostand. Newsl.*, **16**, 111-300.
- Gleissner, P., Druppel, K. and Taubald, H. (2010) Magmatic evolution of anorthosites of the Kunene Intrusive Complex, NW Namibia: Evidence from oxygen isotope data and trace element zoning. *Jour. Petrol.*, **51**, 897-919.
- Imai, N., Terashima, S., Itoh, S. and Ando, A. (1995) 1994 compilation of analytical data for minor and trace elements in seventeen GSJ geochemical reference samples, "igneous rock series". *Geostand. Newsl.*, **19**, 135-213.
- Kakubuchi, S., Nagao, T., Yamada, Y., Kono, Y. and Shiraki, K. (1997) Quantification of rare-earth element in rock samples



Table 5 Comparison with the analytical results of major elements and reference values of USGS reference materials.

wt%	DNC-1				STM-1				BIR-1			
	R.V.	R.V.S.D.	M.V.	R.D.	R.V.	R.V.S.D.	M.V.	R.D.	R.V.	R.V.S.D.	M.V.	R.D.
SiO <sub>2</sub>	47.32	0.64	47.05	0.27	60.75	0.49	60.62	0.13	47.65	0.51	47.34	0.31
TiO <sub>2</sub>	0.48	0.02	0.49	0.01	0.14	0.01	0.14	0.00	0.96	0.03	0.97	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.41	0.49	18.37	0.04	18.73	0.23	18.62	0.11	15.31	0.51	15.40	0.09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	9.99	0.14	9.99	0.00	5.32	0.10	5.33	0.01	11.23	0.23	11.32	0.09
MnO	0.15	0.01	0.14	0.01	0.22	0.02	0.21	0.01	0.17	0.01	0.16	0.01
MgO	10.11	0.33	10.10	0.02	0.10	0.02	0.02	0.09	9.66	0.28	9.51	0.15
CaO	11.34	0.22	11.36	0.02	1.11	0.06	1.16	0.05	13.21	0.29	13.22	0.02
Na <sub>2</sub> O	1.88	0.09	1.89	0.01	9.11	0.20	9.34	0.23	1.75	0.11	1.78	0.04
K <sub>2</sub> O	0.23	0.02	0.23	0.00	4.36	0.07	4.36	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09	0.02	0.07	0.01	0.16	0.01	0.16	0.00	0.05	0.03	0.02	0.02
Total	100.00	-	99.68	-	100.00	-	99.94	-	100.00	-	99.76	-

wt%	RGM-1				G-2				W-2			
	R.V.	R.V.S.D.	M.V.	R.D.	R.V.	R.V.S.D.	M.V.	R.D.	R.V.	R.V.S.D.	M.V.	R.D.
SiO <sub>2</sub>	74.06	0.54	74.21	0.14	69.76	0.30	69.92	0.16	52.48	0.29	52.58	0.10
TiO <sub>2</sub>	0.27	0.03	0.25	0.02	0.48	0.03	0.49	0.00	1.06	0.01	1.08	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.90	0.19	13.90	0.00	15.53	0.32	15.46	0.06	15.39	0.16	15.32	0.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	1.88	0.06	1.91	0.03	2.68	0.10	2.65	0.04	10.79	0.21	10.87	0.08
MnO	0.04	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	0.17	0.00	0.16	0.01
MgO	0.26	0.03	0.29	0.03	0.76	0.03	0.72	0.04	6.35	0.06	6.37	0.02
CaO	1.21	0.07	1.20	0.01	1.98	0.32	1.94	0.04	10.82	0.08	10.95	0.13
Na <sub>2</sub> O	4.21	0.15	4.12	0.09	4.12	0.13	4.20	0.08	2.19	0.04	2.22	0.02
K <sub>2</sub> O	4.41	0.10	4.41	0.00	4.52	0.13	4.52	0.00	0.62	0.01	0.63	0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.00	0.05	0.00	0.14	0.01	0.14	0.01	0.13	0.03	0.13	0.00
Total	100.29	-	100.38	-	100.00	-	100.07	-	100.00	-	100.30	-

R.V.: Reference values, R.V.S.D.: Standard deviation for reference values, M.V.: Measured values in this study, R.D.: relative deviation of measured values from reference values. Reference values and those standard deviation: DNC-1, BIR-1, W-2, Gladney and Roelandts (1987); STM-1, RGM-1, Gladney and Roelandts (1988); G-2, Gladney *et al.* (1992). Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* denotes total Fe as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

using low-dilution ratio glass bead. *Rept. Cent. Instr. Anal. Yamaguchi Univ.*, **5**, 16-25 (in Japanese).

Kimura, J. and Yamada, Y. (1996) Evaluation of major and trace element XRF analyses using a flux to sample ratio of two to one glass beads. *Jour. Min. Petrol. Econ. Geol.*, **91**, 62-72.

McBirney, A. R. (1989) The Skaergaard Layered Series: I. Structure and average compositions. *Jour. Petrol.*, **30**, 363-397.

Nagao, T., Hase, Y., Nagamine, S., Kakubuchi, S. and Sakaguchi, K. (1998) "Sediment component" contributions to the magma genesis of the Hisatsu volcanic rocks, southern Kyushu: A case study of major, trace and rare earth elements analyses in rocks using low dilution glass bead with a dual target, Rh/W X-ray tube. *The Rigaku-Denki Jour.*, **29**, 34-46 (in Japanese).

Takahashi, T. and Shuto, K. (1997) Major and trace element analyses of silicate rocks using X-ray fluorescence spectrometer RIX3000. *The Rigaku-Denki Jour.*, **28**, 25-37 (in Japanese).

Tanaka, R. and Orihashi, Y. (1997) XRF analysis of major and trace elements for silicate rocks using low dilution ratio fused glass. *HUEPS Tech. Rept.*, **2**, 1-20.

Terashima, S., Taniguchi, M., Mikoshiba, M. and Imai, N. (1998) Preparation of two new GSJ geochemical reference materials: Basalt JB-1b and coal fly ash JCFA-1. *Geostand. Newsl.*, **22**, 113-117.

Togashi, S. (1989) XRF Analytical Report 1/89, Determination of major elements in igneous rocks using Sc/Mo dual anode tube. *GSJ Openfile Report*, no. **132**, Geol. Surv. Japan, AIST, 35p.

Tsuchiya, N. and Hasenaka, T. (1995) Major and trace element analyses of rock samples by X-ray fluorescence spectrometry using Rh anode tube. *Ann. Rept. Fac. Edu., Univ. of Iwate*, **55**, 89-110 (in Japanese with English abstract).

Yamamoto, K. and Morishita, T. (1997) Preparation of standard composites for the trace element analysis by X-ray fluorescence. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **103**, 1037-1045 (in Japanese with English abstract).

Yamasaki, T., Owada, M., Imaoka, T. and Shiraki, K. (1999) Major and trace element analyses of rock samples by X-ray fluorescence spectrometry. *Rept. Cent. Instr. Anal. Yamaguchi Univ.*, **7**, 22-31 (in Japanese).

Yoshizaki, T., Tamura, Y., Sano, S., Hori, R., Komatsu, M. (1996)

X-ray fluorescence analysis of major elements for silicate rocks. *Mem. Fac. Sci., Ehime Univ.*, **2**, 1-25 (in Japanese).

Received June 3, 2014

Accepted October 28, 2014

## 1:10 希釈合成試料ガラスビードを用いた蛍光 X 線分析装置による岩石中の主成分元素の定量分析

山崎 徹

要 旨

蛍光X線分析装置(XRF)による広範な組成範囲の全岩主成分化学組成分析のため、1:10希釈のガラスビードを調整した。検量線は産業技術総合研究所岩石標準試料16試料と、それらに薬品を添加した合成試料4試料を用いてXRF搭載のソフトウェアにより作成した。検量線の正確度及び再現性は1:10ガラスビードを用いた検量線法による一般的な組成範囲のXRF定量分析と比較して十分な精度であった。この手法は、産業技術総合研究所岩石標準試料の組成範囲を超える極端な組成や特異的な組成の火成岩類及び変成岩類の全岩主成分化学組成の分析を可能にする。



地質調査総合センター研究資料集

- |     |   |   |
|-----|---|---|
| 597 | GSJ コア西尾善明観測点資料                                 | 北川有一・高橋 誠・小泉尚嗣・伊藤 勉・堀 信雄・長藤亮輔                               |
| 598 | 南海トラフ巨大地震予測のための地下水等総合観測点の孔井における物理検層資料           | 木口 努・桑原保人・小泉尚嗣・塚本 斉・板場智史・佐藤 努・佐藤隆司・関 陽児・梅田康弘・北川有一・重松紀生・高橋 誠 |
| 599 | 南海トラフ巨大地震予測のための地下水等総合観測点整備における地下構造調査（反射法地震探査）資料 | 山口和雄・伊藤 忍・加野直巳・小泉尚嗣   |
| 600 | つくばエキスポセンター館内の石材と化石                             | 井川敏恵・中澤 努・利光誠一・兼子尚知・住田達哉・徂徠裕子・神田久生                          |
| 601 | 富士火山東山麓におけるテフラ層序記載                              | 山元孝広  |
| 602 | 第 22 回 GSJ シンポジウムアカデミックから身近な地質情報へ               | 地質調査総合センター  |
| 603 | 地質標本館所蔵鉱物標本写真集                                  | 地質標本館   |
| 604 | 化学式の元素組成と式量を求めるプログラム formulaweight              | 竹野直人  |
| 605 | 地質標本館 2014 年夏の特別展「地質アナログ模型の世界」                  | 高橋雅紀・芝原暁彦   |
| 606 | 富士火山南西部の地質                                      | 山元孝広  |
| 607 | 地熱開発促進調査の地化学情報整備                                | 佐々木宗建・阪口圭一・佐々木進   |
| 608 | 西之島火山：岩石学的変数のコンターマップ                            | 宮城磯治・下司信夫   |
| 609 | 第 49 回 CCOP 年次総会技術セッション論文集                      | 内田利弘 他 3 名  |



地質調査総合センターの最新出版物

---

200 万分の 1 地質編集図	No. 4 日本地質図 (第 5 版) No. 11 日本の火山 (第 3 版)
20 万分の 1 地質図幅	伊勢・静岡及び御前崎 (第 2 版)・与論島及び那覇・八代及び野母崎の一部・新潟 (第 2 版)
5 万分の 1 地質図幅	今庄及び竹波・早池峰山・南部・八王子・北川・鴻巣
海外地球科学図	アジア地質図 (1:500 万) 中央アジア鉱物資源図 (1:300 万)
海洋地質図	No. 82 奥尻海盆表層堆積図 (1:20 万) No. 83 襟裳岬沖海底地質図 (1:20 万)
構造図	No. 14 全国主要活断層活動確率地図
火山地質図	No. 1 桜島火山地質図 (第 2 版) (1:3 万) No. 16 十勝岳火山地質図 (1:3 万) No. 17 諏訪之瀬島火山地質図 (1:3 万)
鉱物資源図	No. 7 南西諸島 (1:50 万)
特殊地質図	No. 40 関東平野中央部の地下地質情報とその応用
重力図	No. 30 徳島地域重力図 (ブーゲー異常) No. 31 京都地域 S3 甲府地域重力構造図 (ブーゲー異常)
空中磁気図	No. 44 岩手火山地域高分解能空中磁気異常図 No. 45 福井平野地域高分解能空中磁気異常図
水文環境図	No. 7 熊本地域
数値地質図	G-16 20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版 G-17 九州地質ガイド FR-2 燃料資源地質図「東部南海トラフ」 GT-4 全国地熱ポテンシャルマップ S-2 海陸シームレス地質情報集「新潟沿岸域」DVD 版 S-3 海陸シームレス地質情報集「福岡沿岸域」DVD 版 V-3 口永良部島火山地質データベース P-2 日本重力データベース DVD 版 G20-1 20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道北部」第 2 版 G20-2 20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道南部」第 2 版 E-5 表層土壌評価基本図 ～富山県地域～
その他	日本の熱水系アトラス 海と陸の地球化学図

---

地質調査研究報告編集委員会

委員長 佐脇 貴 幸  
副委員長 鈴木 淳  
委員 大谷 竜  
長 森 英 明  
藤原 治  
柳 澤 教 雄  
川 邊 禎 久  
神宮司元治  
内野 隆 之  
森 尻 理 恵  
高 橋 浩  
工 藤 崇  
田 中 明 子  
板 木 拓 也

事務局

独立行政法人 産業技術総合研究所  
地質調査情報センター  
地質・衛星情報サービス室  
Tel : 029-861-3601  
<https://www.gsj.jp/inquiries.html>

---

地質調査研究報告 第65巻 第7/8号  
平成26年11月19日 発行

独立行政法人 産業技術総合研究所  
地質調査総合センター  
〒305-8567  
茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: Takayuki Sawaki  
Deputy Chief Editor: Atsushi Suzuki  
Editors: Ryu Ohtani  
Hideaki Nagamori  
Osamu Fujiwara  
Norio Yanagisawa  
Yoshihisa Kawanabe  
Motoharu Jinguuji  
Takayuki Uchino  
Rie Morijiri  
Yutaka Takahashi  
Takashi Kudo  
Akiko Tanaka  
Takuya Itaki

Secretariat

National Institute of Advanced Industrial  
Science and Technology  
Geological Survey of Japan  
Geo-information Center Geoinformation Service Office  
Tel: +81-29-861-3601  
<https://www.gsj.jp/inquiries.html>

---

Bulletin of the Geological Survey of Japan  
Vol.65 No.7/8 Issue November 19, 2014

National Institute of Advanced Industrial  
Science and Technology  
**Geological Survey of Japan**  
AIST Tsukuba Central 7, 1-1, Higashi 1-chome,  
Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

# BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 65 No. 7/8 2014

## CONTENTS

- Basal topography of the latest Pleistocene to Holocene incised valley fills beneath the Arakawa Lowland, Kanto Plain, Japan  
Junko Komatsubara ..... 85
- XRF major element analyses of silicate rocks using 1:10 dilution ratio glass bead and a synthetically extended calibration curve method  
Toru Yamasaki ..... 97

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

1-1, Higashi 1-chome, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567 Japan

地 調 研 報  
Bull. Geol. Surv. Japan  
Vol. 65, No. 7/8, 2014