



Title	北海道上の国地域における電気探査
Author(s)	大島, 弘光; OSHIMA, Hiromitsu; 宇津木, 充 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 59, 137-150
Issue Date	1996-03-25
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.59.137">https://doi.org/10.14943/gbhu.59.137</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14236">https://hdl.handle.net/2115/14236</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	59_p137-150.pdf



## 北海道上の国地域における電気探査

大島 弘光・宇津木 充・南雲 秀樹

笹谷 努・西田 泰典

北海道大学理学部地球物理学教室

(1996年1月16日)

### VLF-MT Survey and Geoelectrical Soundings in Kaminokuni Town, Hokkaido

Hiromitsu OSHIMA, Mitsuru UTSUGI, Hideki NAGUMO,

Tsutomu SASATANI and Yasunori NISHIDA

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received January 16, 1996)

We conducted a VLF-MT survey and Schlumberger soundings in Kaminokuni area, located in southwestern part of Hokkaido, to estimate subsurface structures, which were requested by evaluating the seismic response of this area from strong motion seismograms observed on the alluvium and the pre-Tertiary system.

From the correlation geology of this area with resistivity structures deduced by one-dimensional analyses, resistivity layers are divided into four categories. The first is correlated with the Quaternary system, and comprises a few thin resistivity layer analyzed in a shallow part. The second is characterized by the low resistivity of less than 10 ohm-meter. This correspond to the Hiyama group (Pliocene to the middle of Miocene) which consists of the Tate formation, the Esashi formation and the Oanzaigawa formation. The third shows resistivity in range from 10 ohm-meter to 50 ohm-meter, and correspond to the Fukuyama formation. The last is correlated with the pre-Tertiary system, and shows resistivity around 100 ohm-meter.

The iso-depth counter map of the Quaternary system based on the results of one-dimensional analyses reveals NNW-SSW elongated basin structure along the Amano-gawa river. From the depositional area of the Hiyama group estimated from geological survey and the resistivity structure, the bay-shape basin structure of this group in the Kaminokuni area is deduced. The base depth of the Fukuyama formation (the early of Miocene) is partly illustrated from the results of one-dimensional analyses and surface geology.

#### I. はじめに

1993年7月12日に奥尻島の北北西80 km, 深さ25 kmを震源とする気象庁マグニチュード7.8の北海道南西沖地震が発生した (Fig. 1).

この地震の余震群を対象に笹谷ほか(1994)は震源域を囲むような観測点配置で強震動観測を実施し、震源近傍での強震動記録とともに、表層地質の影響を強く受けた強震動を観測した。特に、8月8日の最大余震(MJMA 6.5)では爾志郡乙部町において1.6gの最大加速度を観測し、本震の際に液状化現象が発生した上の国町では地盤の非線形化現象を示唆する地盤増幅度の低下を認めている。この現象は天の川に沿って発達する沖積層上で観測された。

この地盤の非線形化現象をはじめとして、ここで観測された波形の特徴や地盤増幅度を定量的に説明するためには地下構造についてのデータが必要とされた。そこで、VLF-MT法と電気探査を実施し、既存資料とあわせて地下構造の推定を試みたので、その結果について報告する。

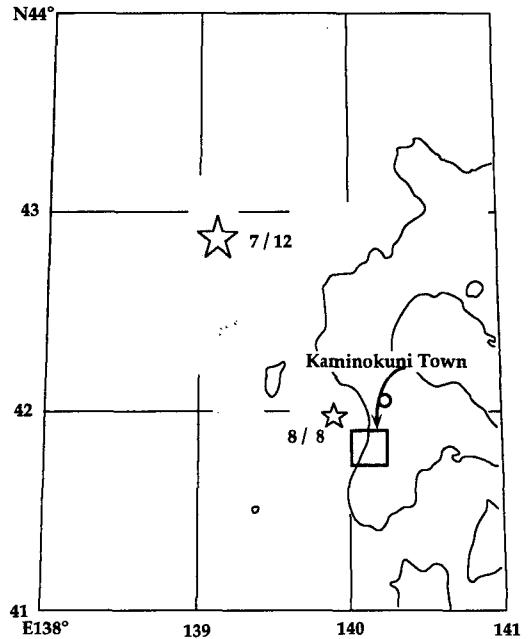


Fig. 1. Location of survey area and the main shock and the maximum aftershock of the 1993 Hokkaido-Nansei-Oki earthquake.

## II. 地質の概要

この地域の地質についての調査研究報告としては、酒匂(1962)を始めとして、長谷川ほか(1965)、角ほか(1970)などがある。これらに加えて、1978~1981年には、非鉄金属の資源開発を目的として、地質調査や物理探査などからなる総合的な調査が通商産業省により実施された。さらに、加藤ほか(1990)により北海道地方の地質がまとめられ、このなかでもこの地域の地質が記述されている。ここでは通商産業省による報告書(1981)に基づき、調査地域の地質と地質構造の概要を記す。Fig. 2には同報告書に添付の地質図から抜粋した上ノ国地域の簡略化した地質図を、また、Table 1には地質総括表を示す。

この地域の地質は、先第三系を基盤に、古第三系を欠いて、グリーンタフを主とした新第三系および第四系で構成されている。

先第三系は松前層群と呼称される地層群の一部であり、粘板岩、砂岩、チャートおよび火山砕屑岩類からなり、隆起地塊として調査地域の東部に分布する。

新第三系は、下位から又八沢層、福山層、湯ノ岱層、大安在川層、江差層、館層、丸山層およびそれらを貫く貫入岩類に区分される。これらのうち、又八沢層、湯ノ岱層、丸山層は調査地域には分布しない。最下位の又八沢層は先第三紀の角礫を多量に含む堅硬な凝灰角礫岩からなる。福山層は石英安山岩質火山砕屑岩からなる下部層、安山岩質溶岩と同質火山砕屑岩を主体とした中部層、および角閃石安山岩溶岩と同質の火山砕屑岩の卓越した上部層に区分される。天の川の以南の丘陵地には福山中層が分布する。湯の岱層は淘汰不良な礫岩、砂岩、凝灰質砂岩、泥岩の互層からなる。大安在川層は江差層の基底部として連続的に分布し、淘汰のよい浅海成の砂岩・礫岩からなり、一部に含

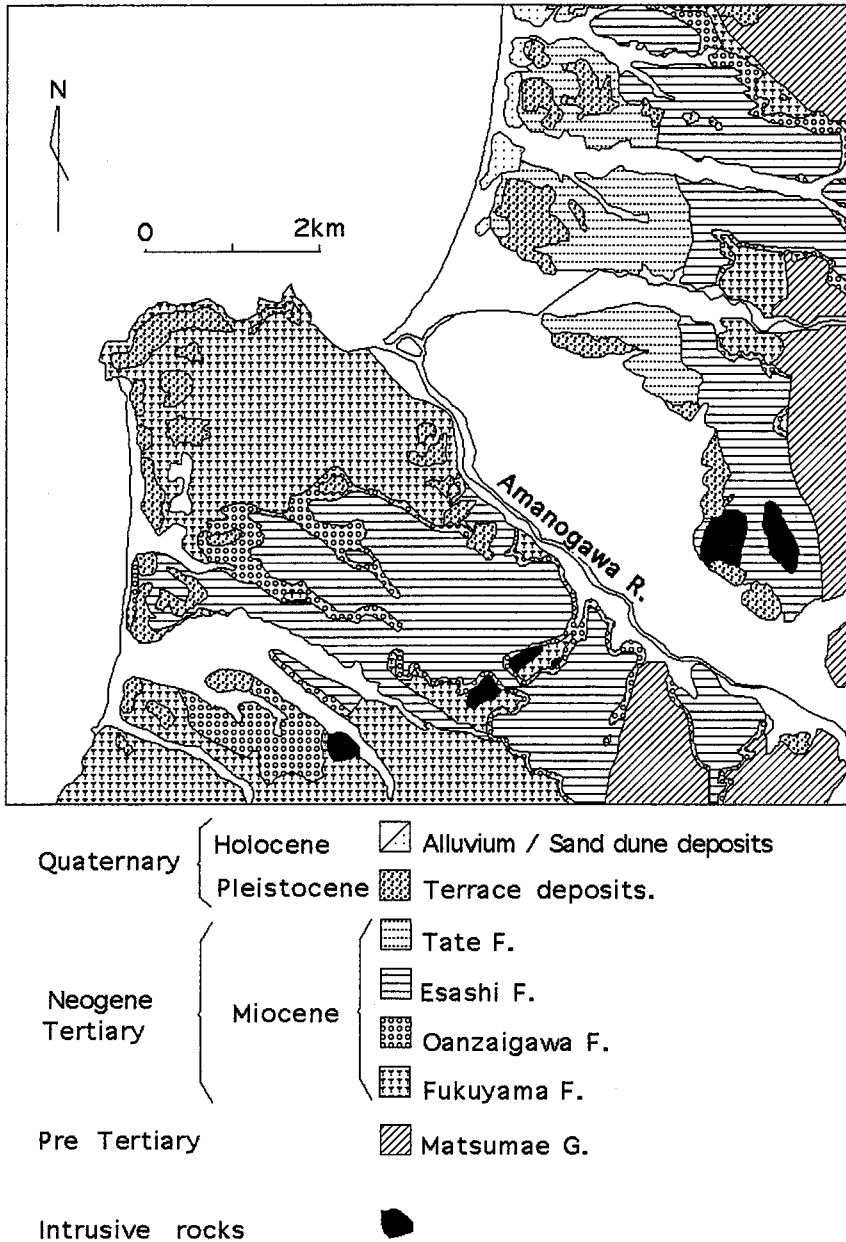


Fig. 2. Geologic map of the Kaminokuni area (simplified from the Ministry of International Trade and Industry, 1981).

礫ドロマイト層や海緑石を含む砂岩を伴う。江差層は主に硬質頁岩からなり、灰色泥岩や砂岩～凝灰角礫岩、灰白色凝灰岩を狭在し、薄板状層理を示す。館層は江差地塊の海岸部に南北に伸びた帯状に分布し、天の川以南には分布しない。岩相は下位より泥岩層、軽石凝灰岩層、凝灰角礫岩層に区分される。円山層は礫岩層と溶結凝灰岩層からなる。これらの地層のうち、正規堆積物を主体とし、整合漸移する大安在川層、江差層、館層は檜山層群と呼称されている。

第四系は河川や海岸に沿った地域に分布し、段丘堆積物、河床堆積物、海浜堆積物からなる。

**Table 1.** Stratigraphy of the Kaminokuni area (simplified from the Ministry of International Trade and Industry, 1981).

Time		Stratigraphy	Thickness(m)	Lithofacies	
Quaternary	Holocene	Alluvium / talus / sand dune		Sand, Gravel, Clay	
	Pleistocene	Terrace deposits		Sand, Gravel, Clay	
Neogene Tertiary	Pliocene	Maruyama Formation		Dacite Welded tuff, Conglomerate	
		?	Tate Formation	180 - 400+	Andesite tuff breccia, Pumice tuff, Mudstone
	Miocene	Esashi Formation	Hiyama Group	50 - 500	Hard shale · Mudstone · Siltstone, Sandstone · Tuffaceous sandstone, Tuff
		Oanzaigawa Formation		- 110+	Conglomerate · Sandstone · Tuffaceous sandstone
		Yunotai Formation		30 - 60	Conglomerate · Sandstone · Tuffaceous sandstone
		Fukuyama Formation		Upper	400 - 500
	Middle		500 - 1500+	Andesite lave and pyroclastic rocks, Conglomerate · Sandstone · Mudstone	
	Lower		500 - 700	Dacite lave and pyroclastic rocks, Conglomerate · Sandstone · Mudstone	
	?	?			
	Paleogene Tertiary	Oligocene	Matahachisawa Formation	200 - 500	Dacite tuffbreccia
Pre Tertiary		Matsumae Group	5500+	Slate, Sandstone, Chert	

### III. 測定および解析

#### 1. VLF-MT 探査

1994年7月29～31日にかけて調査地域内の37地点において測定を実施した。各測定点で得られた見掛け比抵抗値を Fig. 3 に、地表地質で区分した見掛け比抵抗値の頻度分布を Fig. 4 に示す。

測定点の多くは沖積層上に分布し、表層地質で区分した測定点分布の偏りは大きく、新第三系上部の館層や江差層上での測定値はない。沖積層上で得られた見掛け比抵抗は8～120 Ω・m の範囲に分布し、2点で200 Ω・m を越える見掛け比抵抗が観測された。このうちの1点は見掛け比抵抗が300 Ω・m を越える先第三紀の松前層群の分布域に位置し、その存在が地表浅部に想定される地点であり、観測された見掛け比抵抗からも地表浅部に松前層群の存在が示唆される。

第四系下部の更新統に属する段丘堆積物上の3点で得られた見掛け比抵抗は、沖積層よりもやや大きく、50～200 Ω・m の範囲に分布する。この下位には低比抵抗を示すこと多いグリーンタフ堆積物が想定されることから、段丘堆積物の比抵抗はこれよりも大きいと考えられる。

新第三系下部の福山層上の見掛け比抵抗は10～75 Ω・m に分布する。この値は表層地質で区分した見

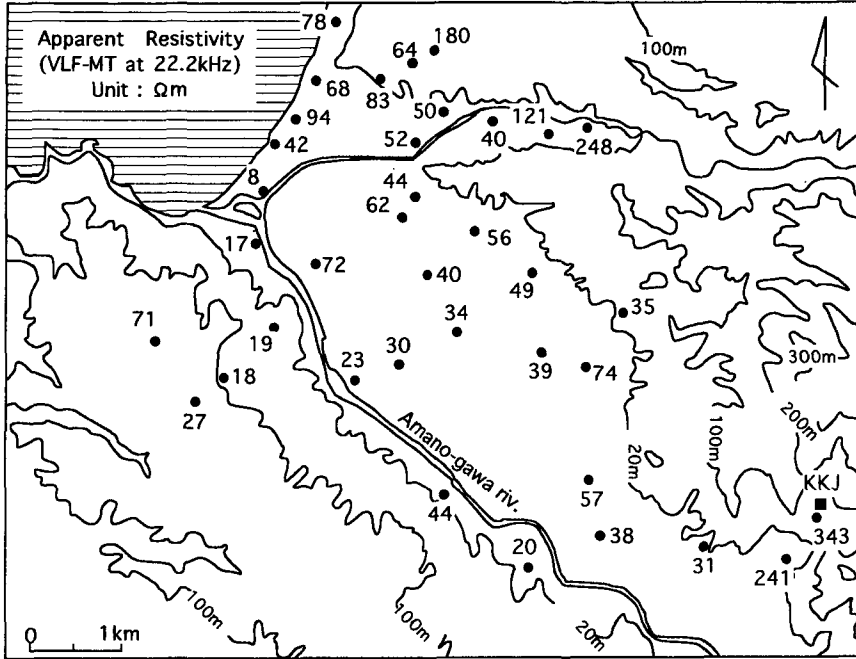


Fig. 3. Distribution of apparent resistivities obtained by VLF-MT survey.

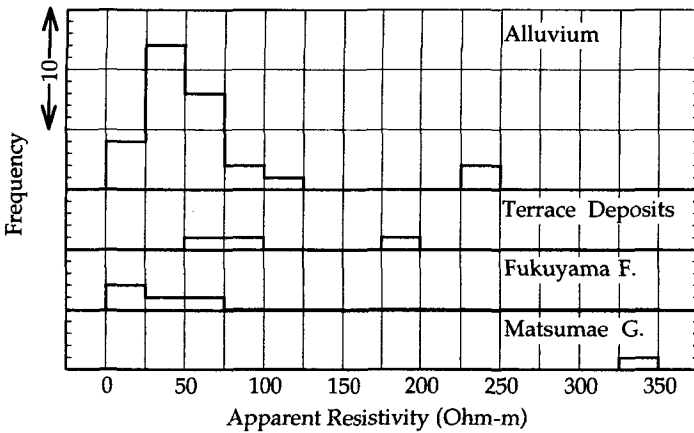


Fig. 4. Frequency distribution of apparent resistivities divided into four categories according to surface geology at a measurement site.

掛比抵抗分布のなかで最も低比抵抗を示し、グリーンタフ地域の第三系が低い比抵抗を示す例にもれない。

## 2. 電気探査

1994年7月29～31日にMACOHM（応用地質社製）を用いて、シュランベルジャー電極配列で探査を行った。測定点はFig. 5に示したKNK 10からKNK 18までの9点である。AB/2（電極間隔）については、KNK 12が500mであるほか、他はすべて300mである。また、KNK 1～KNK 5まで

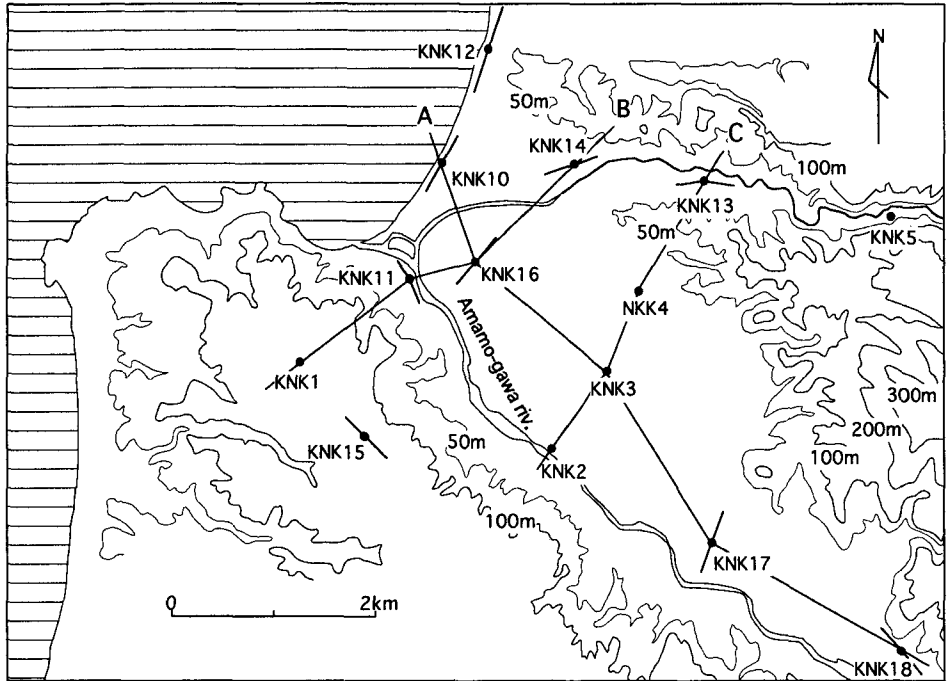


Fig. 5. Location map of Schlumberger soundings.

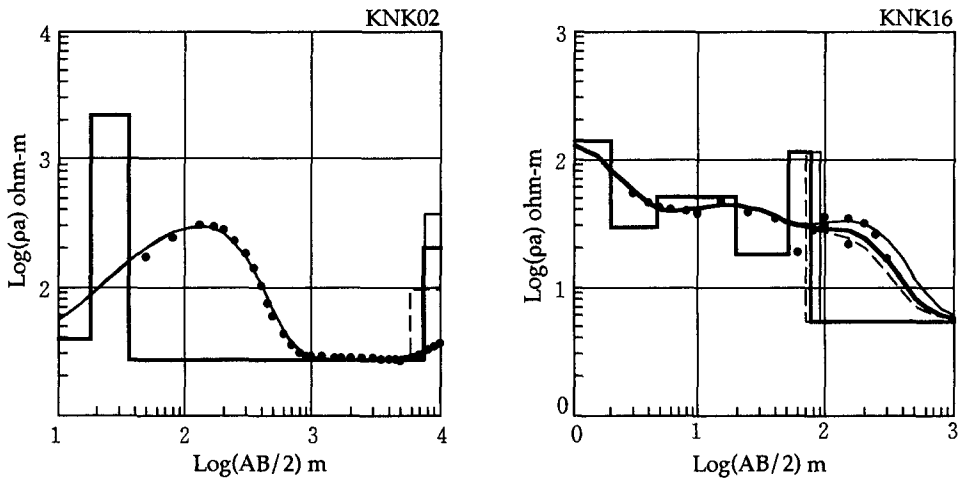


Fig. 6. Examples of one-dimensional analysis. Solid circles indicate observed apparent resistivities. Lines and curves show a resistivity structure and the corresponding theoretical VES curve.

は上の国町が温泉資源開発を目的に実施した電気探査の測定点であり、 $AB/2$ は300 mから1000 mの範囲にわたっている。

構造解析については、これら上ノ国町が実施した電気探査データも加え、一次元水平多層構造を仮定し、リニヤーフィルター法 (Ghosh, 1971a, b) による直接法で行った。使用したプログラムはMacintosh上で作成したポインティングデバイスにより視覚的に比抵抗構造の変更と計算結果の表示が行えるものである。

Fig. 6 には、KNK 02 および KNK 16 の構造解析例を示した。KNK 2 では 4 層構造として解析された。この構造において先第三系に対比される最下層を波線および細線のように変化させても、計算された VES 曲線はほとんど一致し、最下層について 150 m 前後の深度の違いは分解できない。6 層構造が求められた KNK 16 では、 $AB/2$  が 60 m 以上で測定値のばらつきが大きい。層数および比抵抗値を固定したまま、最下層の上面深度を 70 m および 90 m とすると計算された VES 曲線は測定値の上限、下限をほぼ満し、最下層の深度については 20 m 程度の不確かさがある。

この 2 点を含め全ての測定された見掛け比抵抗と解析結果は Appendix に記し、得られた比抵抗構造を柱状図にまとめて Fig. 7 に示した。

KNK 02, KNK 05, KNK 11 と KNK 18 を除き、多くの測定点で  $10 \Omega \cdot m$  以下の低比抵抗層が求め

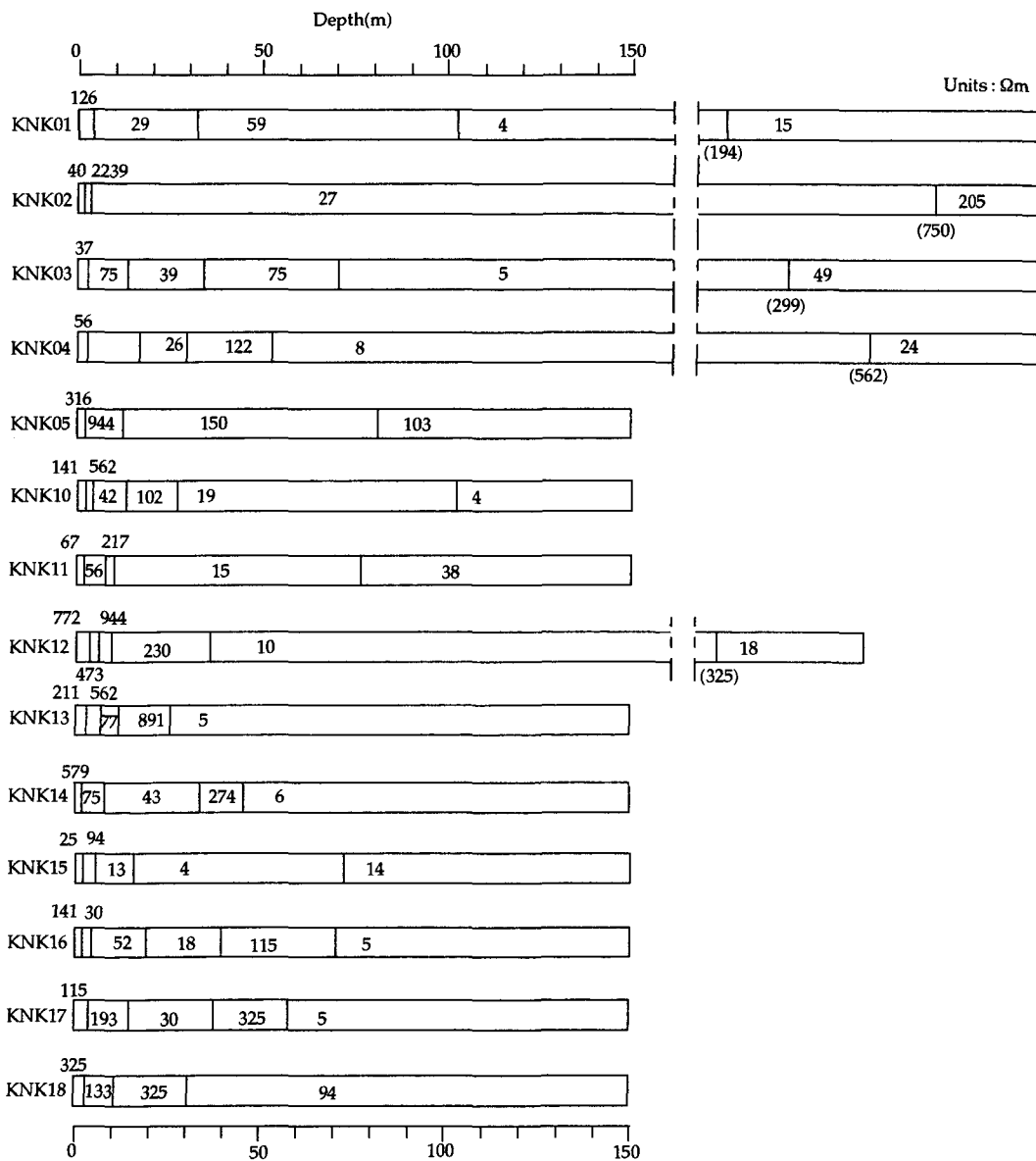


Fig. 7. Resistivity columns obtained by one-dimensional analysis.

られた。グリーンタフ地域の新第三系は著しく低比抵抗を示す例の多いことから、この低比抵抗層は新第三系に相当し、この上位が第四系と考えられる。第四系の比抵抗の変化は大きく、十数 $\Omega\cdot m$ から1000 $\Omega\cdot m$ を越える範囲に分布する。10 $\Omega\cdot m$ 以下の低比抵抗層の下位については、AB/2の大きいKNK 03やKNK 04において20~50 $\Omega\cdot m$ の比抵抗を示す層が解析されている。同程度の比抵抗を持つ層は、福山層の分布域に位置するKNK 01, 天の川沿いのKNK 02やKNK 11においても薄い第四系の直下に解析された。一方、先第三系の松前層群の分布域に位置し、その存在が浅部に想定されるKNK 05とKNK 18では、数100 $\Omega\cdot m$ の比抵抗を示す第四系の直下に、75~150 $\Omega\cdot m$ の比抵抗層として先第三系が解析された。これに相当する層はKNK 02でも20~50 $\Omega\cdot m$ の比抵抗層の下位に最下層として求められた。このように20~50 $\Omega\cdot m$ の比抵抗を示す層は、10 $\Omega\cdot m$ 以下の低比抵抗層の下位で先第三系の上位に解析されていることから、比抵抗構造でみると新第三系は2層に区分され、10 $\Omega\cdot m$ 以下の低比抵抗層は主に正規堆積物からなる新第三系上部の檜山層群に、20~50 $\Omega\cdot m$ の比抵抗を示す層は火山砕屑層を主体とした新第三系下部の福山層に相当すると考えられる。なお、KNK 01やKNK 15でも10 $\Omega\cdot m$ 以下の低比抵抗層が求められているが、江差層の分布域にあたるKNK 15で解析された低比抵抗層は江差層に相当すると考えられる。一方、KNK 01で解析されたこの低比抵抗層は20~50 $\Omega\cdot m$ の比抵抗を示す層に挟まれており、福山中部層を構成する正規堆積物であるのかもしれない。

Fig. 8~Fig. 9には、この比抵抗と地層対比に基づいて描いたFig. 5の測線AからCにそう構造断面を示した。

測線Aについてみると、第四系はKNK 18からKNK 10方向に層厚が増大する傾向にあるが、KNK 18からKNK 16までの層厚変化は小さく、層厚変化はKNK 16からKNK 10の間で大きい。KNK 18で欠除している新第三系の檜山層群および福山層についても、KNK 03の構造解析結果や地表地質から第四系と同様にKNK 18からKNK 10の方向に層厚が増大していると想定される。

測線Aを横切る測線Bでみると、第四系はKNK 16付近を最深部とした盆状構造を示す。KNK 16の南に位置するKNK 01, KNK 11では第四系は薄く、この下位に、檜山層群を欠いて第三系下部の

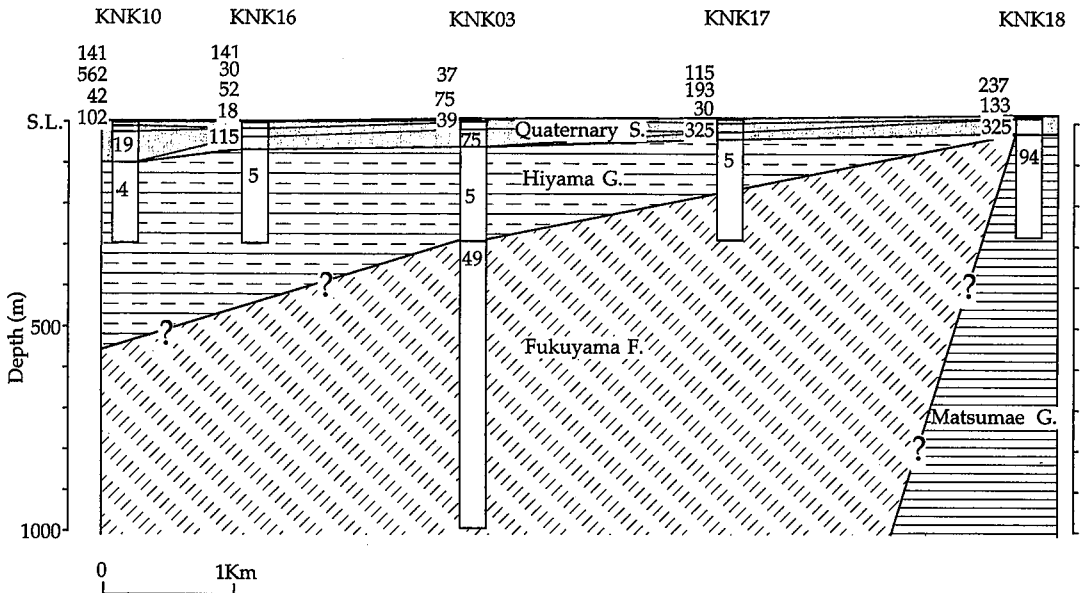


Fig. 8. Subsurface structure deduced from Schlumberger soundings along the line A in Fig. 5.

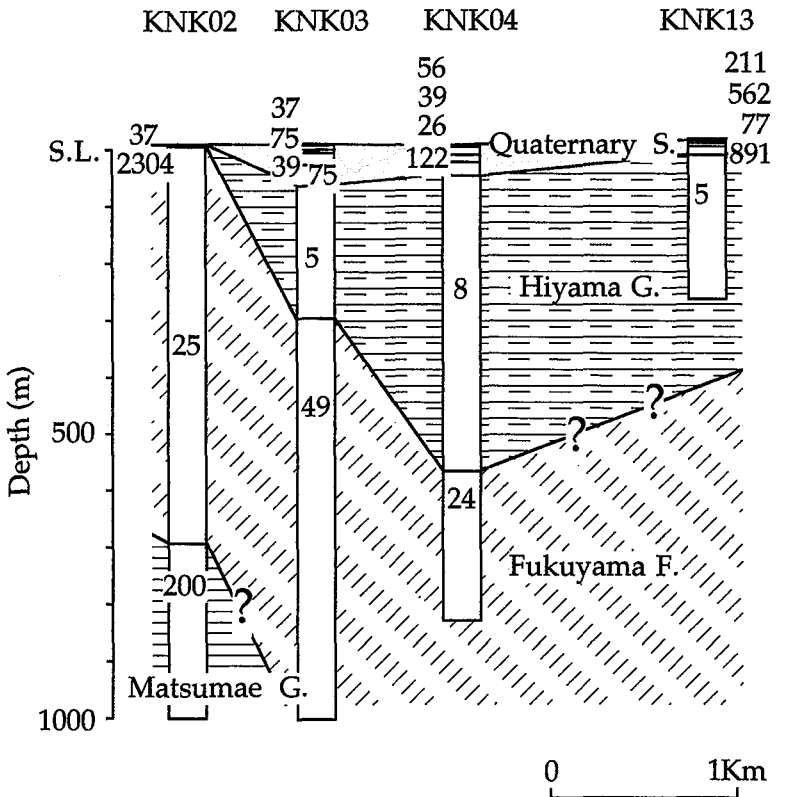
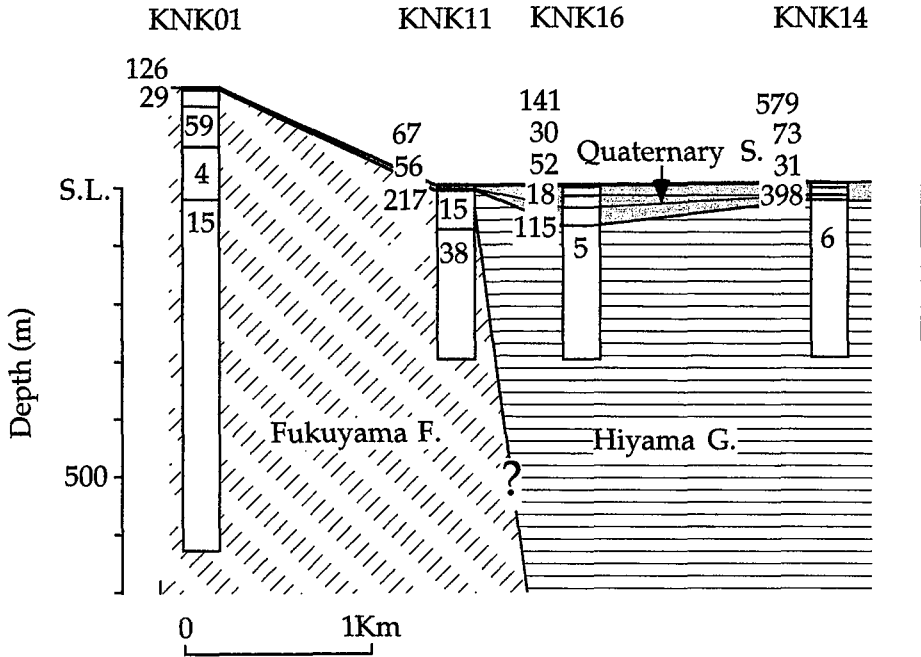


Fig. 9. Subsurface structure deduced from Schlumberger soundings along the line B (upper) and the line C (lower) in Fig. 5.

福山層が分布する。

測線Cでも第四系はKNK 03付近を最深部とした盆状構造を示す。新第三系上部の檜山層群については、測線の北側延長部で新第三系下部の福山層が地表に分布することから、盆状構造を呈していると考えられ、その最深部はKNK 04付近ないしこれ以北に想定される。天の川沿いのKNK 02では、測線BのKNK 11と同様に、檜山層群を欠いて薄い第四系の下位に福山層が分布し、深度700mに松前層群がとらえられた。測線B、Cの断面からは、天の川にそう断層が想定されるが、これは重力異常から天の川にそって推定されている断層の存在（通商産業省，前出）と調和する。

Fig. 10には第四系および新第三系の基底面深度の等深度線を示す。第四系は天の川方向に走向を持ち、海岸線付近を最深部とした船底状構造を示す。新第三系は、一部で基底面の等深度線が描けたにすぎないが、先第三系の地表分布域から断層状に落ち、海側に開いた盆上構造を呈しているようである。

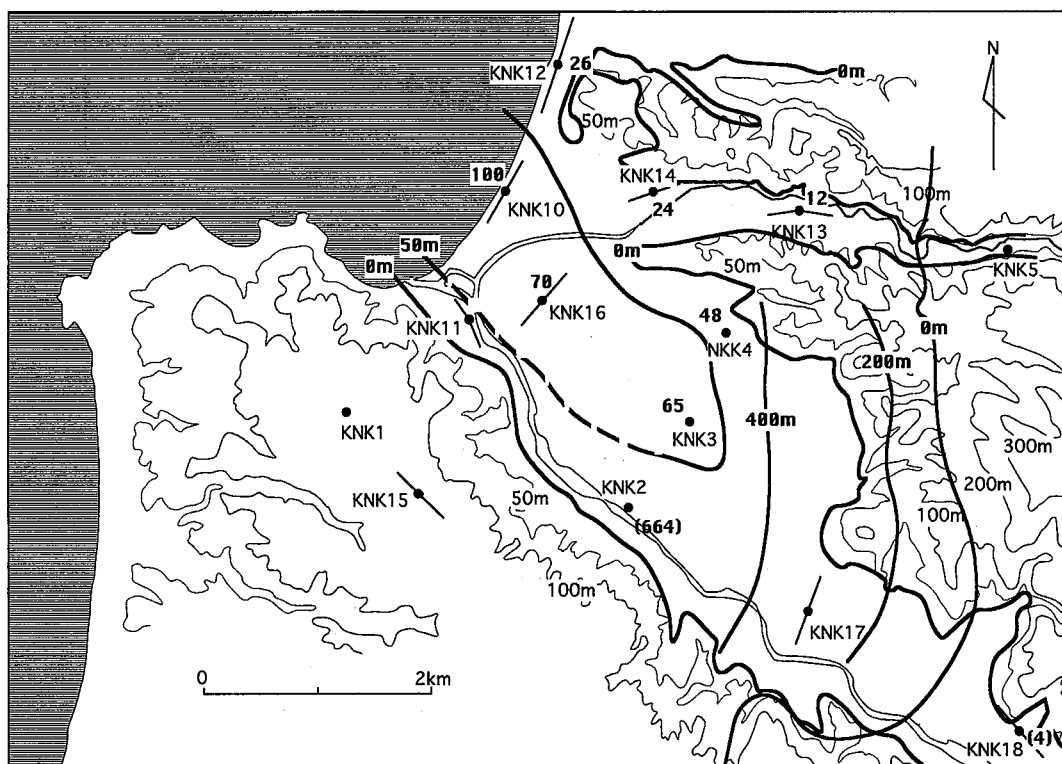


Fig. 10. Contour map showing the base of Quaternary system (solid line) and Neogene Tertiary system (gray line). Boldfaced numbers indicate the base depth of the Quaternary system, and numbers in parenthesis show the base depth of the Neogene Tertiary system.

#### IV. 議 論

南雲 (1994) は、沖積層上の観測点 KNK と先第三系基盤岩上の観測点 KKJ の記録を詳細に比較・検討するとともに1次元モデルを用いた解析をおこない、1次元多重反射理論では説明のつかない不整形性構造によって二次的に生じた波がKNKの記録にふくまれていることを明らかにした。このような不整形性構造の一つとして堆積盆地があり、盆地端部で生成あるいは転換された盆地生成表面波や盆地転換表面波の存在が知られている (川瀬, 1993)。

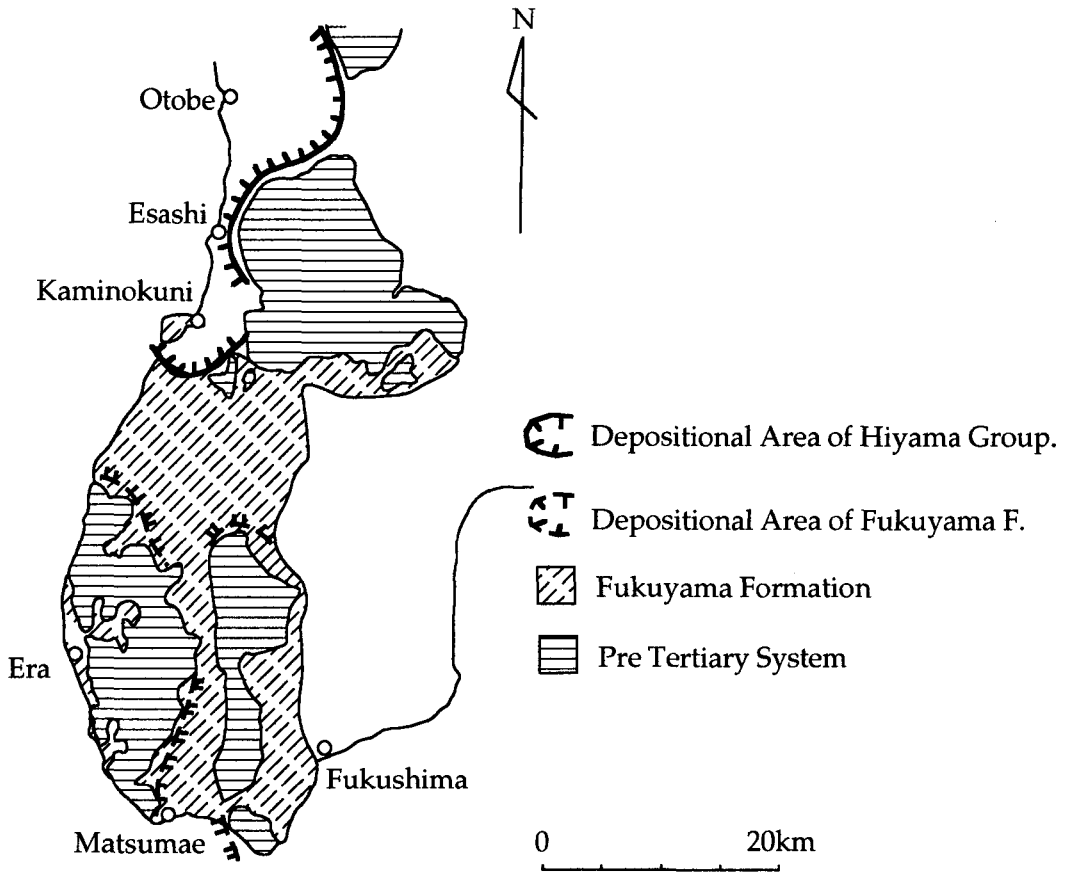


Fig. 11. Map showing the depositional area of the Hiyama group and the pre-Tertiary system. (simplified from the Ministry of International Trade and Industry, 1981).

今回の電気探査では第四系の堆積構造（水平および垂直スケール）はほぼ解析できたが、新第三系については一端が解析できたにすぎなかった。新第三系は比抵抗構造の面からは2層に区分され、低比抵抗層に対比される檜山層群については、盆状構造が推定された。檜山層群は上ノ国町～江差～乙部にかけて先第三系の海側に広く分布し、この堆積盆は、先第三系の西側に東縁を持つ(Fig. 11)。この堆積盆の西縁は海域に妨げられて明らかではない。しかし奥尻海嶺と渡島半島間の奥尻海盆には半島よりに最深部を持つ厚さ約 1000 m の新第三紀後期の鮮新統が認められており(奥田ほか, 1987)、この堆積盆は南北約 50 km、東西約 20 km の空間スケールを有しているかもしれない。一方、この堆積盆は江差町付近で先第三系の張り出しによりくびれ、上の国町側では南北に約 10 km の湾状を呈しているようにも見える。

新第三系下部の福山層については、江差地塊、江良地塊、および大千軒地塊に囲まれた地域に分布し、天の川以南には大きな堆積盆が想定され、その水平スケールは約 20 km に及ぶ。

### V. ま と め

北海道南西沖地震の余震群において上の国町で観測された表層地質の影響を受けた地震記録の定量解析のために、その基礎データの一つとして、VLF-MT 法と電気探査を実施し、地質構造の推定をし

た。

第四系については天の川方向に走向を持ち、海岸線付近を最深部とした NNW-SSE に延びた盆状構造が解析された。一方、新第三系の構造はその一端が解析できたにすぎなかったが、新第三系上部の館・江差・大安在川層については水平的に湾状を呈した盆状構造が推定された。

謝辞 電気探査の実施にあたっては、五十嵐昌司および白銀哲夫氏の協力を得た。また、電気探査データについて便宜を計っていただいた上の国町に記して謝意を表します。

#### 参考文献

- Ghosh D. P., 1971a. The application of linear filter theory to the direct interpretation of geoelectrical resistivity sounding measurement. *Geophys. Prosp.*, **19**, 192-217.
- Ghosh D. P., 1971b. Inverse filter coefficients for the computation of apparent resistivity standard curves for a horizontally stratified earth. *Geophys. Prosp.*, **19**, 769-775.
- 長谷川 潔・松下勝秀, 1965. 上ノ国村の地質. 北海道立地下資源調査所. 40 pp.
- 上の国町, 1993. 上の国地区温泉開発調査報告書. 上の国町, 200 pp.
- 加藤 誠, 勝井義雄, 北川芳男, 松井 愈, 1990. 日本の地質 1, 北海道地方, 333 pp, 共立出版.
- 奥田義久, 盛谷智久, 細野武男, 1987. 西津軽海盆海底地質図(20万分の1)および同説明書. 海洋地質図, No. 30, 25 pp.
- 酒匂純俊, 1963. 北海道松山郡江差町の地質. 北海道立地下資源調査所. 38 pp.
- 南雲秀樹, 1994. 軟弱地盤の地震応答—北海道上の国町—, 北海道大学理学部地球物理学科修士論文. 90 pp.
- 笹谷 努, 齊藤誠治, 南雲秀樹, 古村美津子, 岡田 広, 工藤一嘉, 坂上 実, 高橋正義, 入倉孝次郎, 松波孝治, 岩田知孝, 渋谷拓朗, 釜江克宏, 1993. 1993年北海道南西沖地震系列の強震動観測, 平成5年度北海道南西沖地震・津波とその被害に関する調査研究. 27-34.
- 角靖夫, 垣見俊弘, 水野篤行, 1970. 5万分の1地質図幅および同説明書「江差」, 53 pp.
- 通商産業省, 1981. 昭和55年度広域調査報告書「久遠地域」. 121 pp.

**Appendix** The interpreted results of Schlumberger sounding. Solid circles indicate observed apparent resistivities. The line and the curve show the deduced resistivity structure and the corresponding theoretical VES curve.

