

東北地方太平洋沿岸地域空中電磁探査について

大熊茂雄・上田 匠・光畑裕司・神宮司元治・内田利弘（産業技術総合研究所）

Helicopter-borne EM Survey over the Areas Struck by the Tsunami of March 11, 2011 in Northeast Japan

Shigeo Okuma, Takumi Ueda, Yuji Mitsuhashi, Motoharu Jinguuji and Toshihiro Uchida
(Geological Survey of Japan, AIST)

Abstract:

The Geological Survey of Japan, AIST conducted a helicopter-borne EM survey over inundated areas by the tsunami on March 11, 2011 in northeast Japan 15 months after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. The purpose of the survey is to map the electrical resistivity of the ground intruded by seawater of the tsunami for its reutilization as farming lands and water assessment of the area.

The survey was flown in June 2012 at an altitude of 60 m above ground with a speed of 50 km/h along survey and traverse lines spaced 100 m and 1,000 m apart, respectively. The airborne EM system (Fuguro Airborne Surveys' RESOLVE system) was installed in a bird and towed 30 m below the helicopter. This is a frequency-domain system operated at five frequencies (340 Hz, 1.5, 6.9, 31, 140 kHz) in a horizontal coplanar configuration and at a frequency (3.3 kHz) in a vertical coaxial configuration.

The observed electromagnetic data were processed and apparent resistivity maps were created for each frequency. As for the apparent resistivity map at the maximum frequency of 140 kHz, low resistivities less than 20 Ω m range from close to the coastline up to 4km inland and are edged to the west by high resistivities (64 - 128 Ω m), corresponding to the inundation line derived from aerial photos by the Geospatial Information Authority of Japan (2011). It is implied that these low resistivities can be associated with the effect of seawater intrusions by the tsunami. As the frequency becomes lower, low resistivities areas (< 8 Ω m) extend to inland, indicating the existence of deep salt water wedges and/or fossil salt water. To verify the results by airborne surveys and confirm the groundwater environment, further studies will be done with shallow drillings as well as with time-domain EM and high-density electrical surveys on ground.

Keywords: airborne EM survey, resistivity, the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, tsunami, groundwater environment, salt damage

1. はじめに

産総研では、東北地方の2011年津波被災地（第1図、宮城県亘理町、山元町、福島県新地町、相馬市）における海水の地下への浸透状況と、その下層にある淡水性地下水の分布をヘリコプターによる空中電磁探査によって調査した（Okuma *et al.*, 2012）。

調査した津波被災地では、鮮新世の基盤岩類の上に下部砂層、粘土層、上部砂層が順に堆積し、上部砂層中には不圧地下水が、下部砂層中には被圧地下水が存在する（東北農政局, 1980）。この地域は海岸線に近い通常でも海水の影響を受け、また沿岸部の地下深部では海水の浸入や海水準変動による化石塩水の存在が知られている（奥津, 1977；森・高橋, 2009）。これらに加えて、現在は津波による浸水で地下浅部の不圧地下水が塩水化し問題となっている（森ほか, 2012；東北農政局, 2012）。このため安心して利用できる淡水性地下水を確保できるように、地下水の汚染状況の把握や継続的なモニタリングが求められている。宮城県亘理町や山元町では、稲作のほかイチゴのハウス栽培が盛んであり、イチゴへの

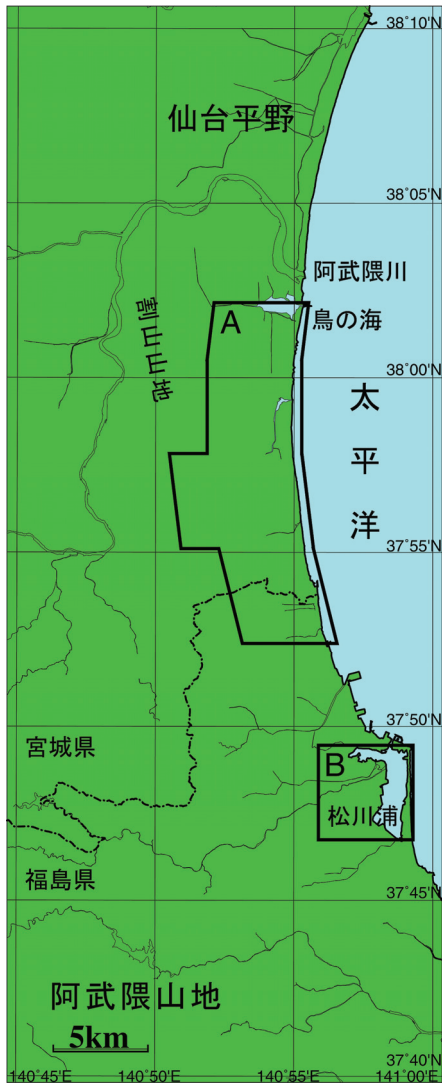
の散水やビニールハウスの暖房のために淡水性の地下水の確保が喫緊の課題となっている。

本論では、実施した空中電磁探査について説明するとともに、作成された仙台平野南部の見掛比抵抗分布図の特徴について報告する。

2. 空中電磁探査

2012年6月に2011年津波被災地（仙台平野南部と福島県松川浦地域）における塩水の地下への浸透状況と、その下層にある淡水性地下水の分布を把握することを目的として、ヘリコプターによる空中電磁探査を実施した。

調査では時速50kmで対地60mの高度上を飛行するヘリコプターから30m下方に電磁バードを吊り下げて測定を行った。位置標定はDGPSを使用した。調査では、100m間隔で設定した東西測線上でバードに収納した5周波数（340 Hz, 1.5, 6.9, 31, 140kHz）の水平コイルと1周波数（3.3 kHz）の鉛直コイルで磁場を送受信し、電磁応答データを測定した。



第 1 図 調査範囲図

A : 仙台平野南部地域, B : 松川浦地域

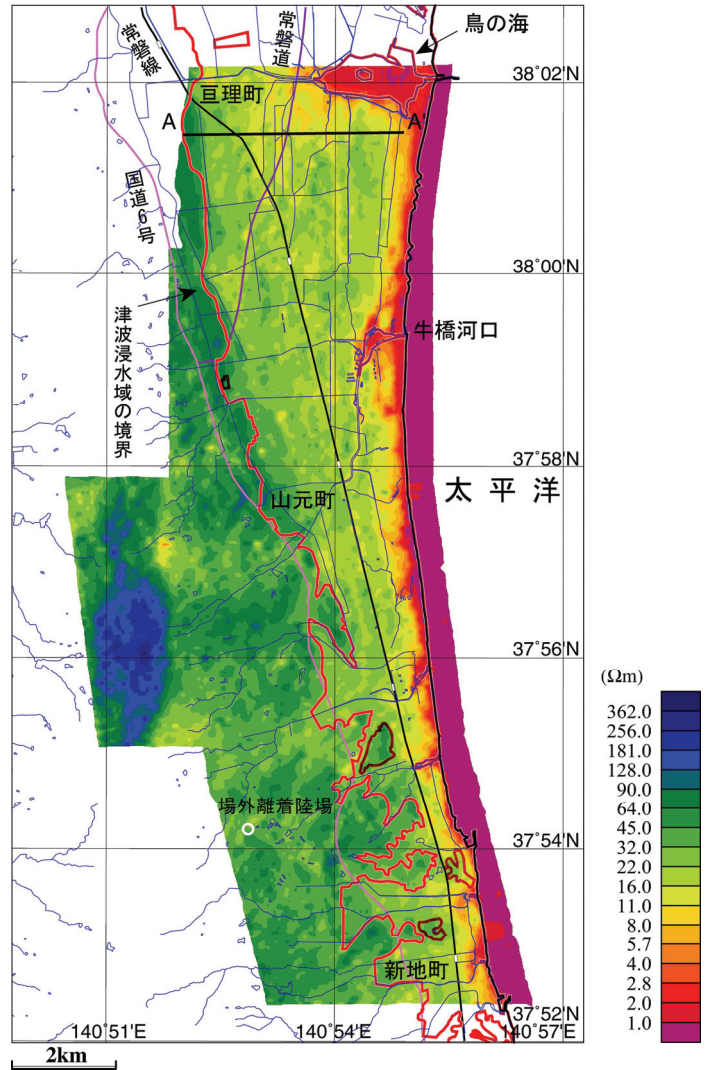
Fig. 1 Study area

A: Southern Sendai Plain area, B: Matsukawaura lagoon area

3. 見掛比抵抗分布図

測定データを処理し、フェーザーダイアグラムに基づいて見掛比抵抗データと見掛測定高度（見掛深度）を周波数毎に計算した。

最も高い周波数（140 kHz）の見掛比抵抗分布は地下の浅部（深さ 0~5 m 程度）での分布に対応し、仙台平野南部（第 2 図）の海岸線付近では 4.0 Ωm 以下の非常に低い比抵抗値を示した。この低い比抵抗値は海岸からの海水の浸入のためと考えられる。一方、海岸線から内陸側に向かって数 km 以下の地域では、20 Ωm 以下の低比抵抗層が広く分布し、その分布域の境界は津波浸水域の末端部に良く一致している。これは、津波による海水（比抵抗値 0.25 Ωm）の浸水で土壌や浅部地層（通常は数 10 Ωm 以上）の比抵抗



(a)

第 2 図 仙台平野南部の見掛比抵抗分布図（140 kHz）

赤の太線が津波浸水域の境界（国土地理院，2011：<http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku60003.html>）を示す。青の細線は、水系（国土地理院発行数値地図 25000（空間データ基盤））を示す。A-A' は第 3 図の断面位置を示す。

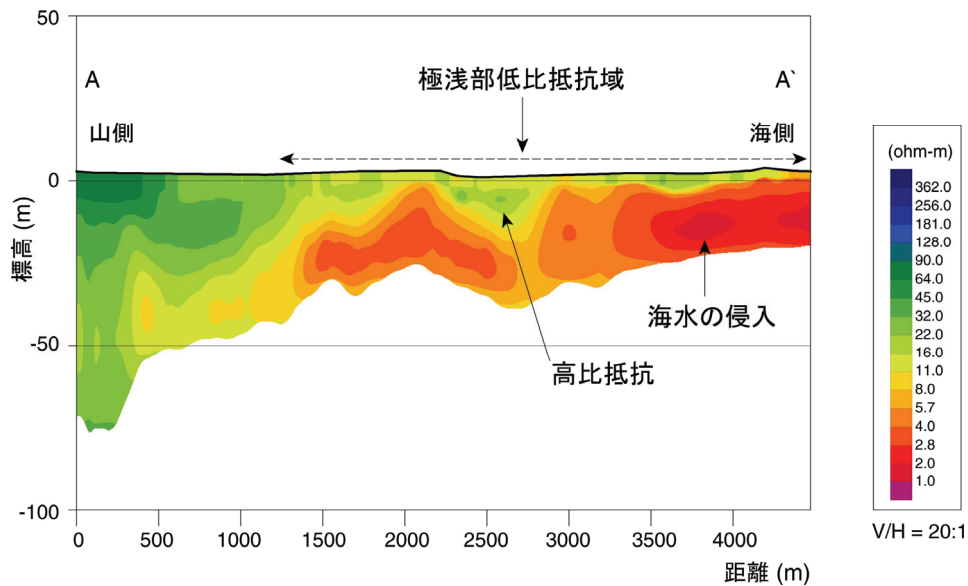
Fig. 2 Apparent resistivity map at a frequency of 140 kHz of the Southern Sendai Plain area

Red solid lines indicate the inundation line of the 2011 Tsunami (GSI, 2011 :

<http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku60003.html>). Blue thin lines show the drainage system (Digital Map 25000 (Spatial Data Framework) (GSI)). A-A' denotes the location of the cross-section of Fig. 3.

抗値が低下したためと考えられる。

また、仙台平野南部地域の 10~20 m より深い地下では、2.0~11.0 Ωm の低比抵抗層が海岸線付近から内陸に向かって伸びているが、農業用排水路など



第3図 仙台平野南部地域の見掛比抵抗東西断面図の例（縦横比 20:1）

Fig. 3 Cross-section of apparent resistivity at a frequency of 140 kHz along the profile of A-A' on Fig. 2.

では、さらに深い地下にまで低比抵抗層が認められる。これは、海水が農業用排水路を通じて地下へ浸透したことによると考えられる（第3図）。

これらの低比抵抗層に囲まれて相対的に高い比抵抗の層も認められた。このような比抵抗分布の特徴は淡水レンズの形態と類似性があることから、これらの高比抵抗層の分布域には淡水性地下水が存在している可能性があり、新たな地下水の供給源の候補と考えられる。

4. まとめ

今回、東北地方太平洋沿岸地域の津波被災地で海水の浸透状況を調べる目的で空中電磁探査を実施した。その結果、当該地域では、地下の極浅部に低比抵抗がマッピングされ津波の際に浸水した海水の影響によるものと解釈された。一方、より深部では侵入した海水（塩水くさび、化石塩水）の影響と考えられる低比抵抗層が分布するが、これらに囲まれた高比抵抗層も分布することが明らかとなった。これらの構造を明らかにするため、今回の調査地域では、地上でも電磁探査などを実施している。今後、これらのデータを比較検討すると共に、ボーリングによって浅部の水源として利用できる淡水性地下水が実際に存在するかなどを確認する予定である。

謝辞

調査の実施に際し、地元宮城県亘理町、山元町、福島県新地町、相馬市に便宜をはかっていただいた。宮城野ゴルフクラブには場外臨時ヘリポートを設置するための敷地をお借りした。調査の立案に際し、

BGR（ドイツ連邦地球科学・天然資源研究所）のUwe Meyer およびAnnika Steuer 両博士から、BGRが2005年にスマトラ島北部で行った空中電磁探査について情報提供していただいた。以上の諸機関および方々に感謝の意を表します。

文献

- 森 一司・高橋朋佑（2009）仙台平野南部地域でのVLF探査による塩水侵入状況調査について。日本応用地質学会平成21年度研究発表会講演論文集，89-90。
- 森 一司・高橋朋佑・岡庭信幸・柴崎直明・大内拓哉（2012）2011年東北地方太平洋沖地震による仙台平野南部地域での地下水環境変化について。地下水学会誌，54，1，11-23。
- Okuma, S., Ueda, T., Mitsuhashi, Y. and Uchida, T. (2012) Helicopter-borne geophysical survey over the areas struck by the tsunami of March 11, 2011, in northeast Japan, AGU 2012 Fall Meeting, San Francisco.
- 奥津春生（1977）大仙台圏の地盤・地下水，宝文堂出版，319p.
- 東北農政局（1980）宮城県及び岩手県水文地質図集，東北農政局計画部，69p.
- 東北農政局（2012）地下水盆地地下水制御活用技術確立型「仙台平野南部地区」（H20-H22）調査報告書，東北農政局農村計画部資源課，212p.