

## 震源データを用いた深部構造解析手法の検討 — 東北日本の例 —

楠瀬勤一郎<sup>1</sup>・川方裕則<sup>2</sup>・竹内淳一<sup>3</sup>

Kinichiro Kusunose, Hironori Kawakata and Jun-ichi Takeuchi (2004) Investigation on analysis method for deep structure using hypocenter data – example in northern Honshu –. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 55(11/12), p.423 - 429, 8 figs.

**Abstract:** Using the earthquake catalog data provided by the Meteorological Agency at the existing observation points, the correlation between the hypocenter distribution and deep-seated geothermal resources areas under plains was investigated in northern Honshu. Although the used data might not be reflecting the steady seismic activity of northern Honshu enough since the period after completion of the dense network of seismic stations is short, it turns out that seismic activity is not so active in deep-seated geothermal resources areas. Ito *et al* (1990) pointed out that the lower limits of depth distribution of the hypocenters are correlative with degree of heat flow. Therefore, we tried to extract some informations on the temperature distribution of the crust from hypocenter distribution data. The result indicates that the circumference of “Furukawa” deep-seated geothermal resource area is active in seismic activity in comparison with “Furukawa” geothermal resource area itself. Many researches such as identification of the positions of earthquake reflective sides using the seismic wave forms, have carried out. Moreover, the 2003 northern Miyagi earthquake is under investigation, then it is expected that the situation in the crust under “Furukawa” geothermal area will become more clear.

**Keywords:** Japan Meteorological Agency Earthquake Catalog, Deep-seated hot water Resources, Furukawa

### 要 旨

稠密な微小地震観測網の整備が完成した 1998 年以降、気象庁が大学・防災科学研究所などの諸機関のデータ提供も受け、震源を求めて公開している、いわゆる震源一元化データは、従前の気象庁の地震カタログに比較し、質量ともに格段に向上した。本研究では、気象庁震源一元化データを使用し、50 万分の 1 地熱資源図「秋田」と「新潟」の両地域における地震の震源分布と深層熱水資源賦存地域との相関を調べた。既存データの範囲では、深層熱水資源賦存地域は地震活動があまり活発でないことがわかった。震源の深さ分布の下限は地殻熱流量と相関がある (Ito, 1990 など) という指摘があり、地殻内部に発生する地震について、震源の深さ分布の下限を求めた。震源分布の下限と地殻熱流量についての相関の可能性は示唆されたが、観測期間が限られていることなどにより、震源が十分面的にカバーしておらない為、両者について明瞭な関係を示すまでにはいかなかった。

### 1. はじめに

世界的有数の地震災害国である我が国は、地震予知・地震災害の軽減を目的とした地震観測網が世界で

最も稠密に張り巡らされている。これらの地震観測結果は、波形データとしてだけでなく、震源、発震機構解などさまざまな形で公開され、研究・調査に用いられている。ここでは、圧縮応力が支配的な場での深層熱水資源賦存地域の構造について、50 万分の 1 地熱資源図「秋田」(緯度 38°~40°, 経度 139°~142°) と「新潟」(緯度 36.5°~38.5°, 経度 138°~141°) の両地域(以後、「秋田」、「新潟」と呼ぶ) を取り上げ、気象庁から公開されている震源データを用い考察する。

気象庁の公開データの性格について考察を行い、地震の震源分布と深層熱水資源賦存地域の空間的な相関について考察を行い、深層熱水資源賦存地域の構造を詳しく調べるのに適切なモデル地域を選定した。

### 2. 震源分布から何を期待するのか?

地震は地殻中で発生する動的不安定現象であり、その発生は震源周囲の物理的な環境を反映する。そこで、深部のどのような物理環境が地震の発生に影響を及ぼすのかという観点から、さまざまな研究が行われてきており、地殻内で発生する地震の震源の深さの下限と、地殻熱流量には密接な関係があることが知られている [Ito (1990)].

Ito (1990) は、京都大学が展開していた近畿北部の観

<sup>1</sup>地圏資源環境研究部門 (Institute for Geo-Resources and Environment, GSJ)

<sup>2</sup>京都大学 防災研究所 (Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

<sup>3</sup>立命館大学 理工学研究科 (The Institute of Science & Engineering, Ritsumeikan University)

測ネットワークによって1976年から1987年の間に観測された21,000個以上の震源データを用いて内陸地震における震源の深さの下限と地殻熱流量を関連付け、震源の深さの下限と地表の地殻熱流量には逆相関があり、下限は地温が約200度～400度の範囲であることを示唆した。また、田中・伊藤(2002)は、1984年長野県西部地震の余震域で整備された地震観測網の微小地震データと、観測網周囲の観測井で行われた温度検層及び温度回復試験から得られた温度構造を用い、長野県西部地域における地殻内地震の下限温度が、ほぼ250℃であることを示した。

### 3. 気象庁一元化データ

Ito(1990)の示した結果を進展させ、様々な地質条件と組み合わせて議論するためには、特に深さの決定精度の高い震源データが整備される必要がある。これまでは、気象庁の観測網を基に決定していた気象庁震源データは、観測点の密度が十分でなく、このような研究に用いるには不十分であった。

1995年に発生した兵庫県南部地震を契機に、高感度地震観測網が、防災科学技術研究所を中心に全国に展開・整備された。気象庁は地震防災対策特別措置法の趣旨に従い、防災科学技術研究所、大学等関係機関の観測網のデータ提供を受け、震源決定を行うこととなった。気象庁では、震源情報の精度を高めるために再検測、再々検測を行っており、決定された震源情報を公開している。これらの震源データは、従前の気象庁震源データに比べ質・量ともに大きく向上しており、「気象庁一元化震源」と一般に呼ばれている。本報告は、気象庁一元化震源データにもとづいて行うことにした。

気象庁がネット上で公開している全期間(1923年～2003年8月)の震源を使い「秋田」の深さ45kmまでの震源分布を第1図に示す。総地震数は22,328個であった。

第2図は、防災科学技術研究所の高感度地震観測網(Hi-net)が整備された後の期間(1998年1月～2003年8月)の震源分布を示す。総地震数は14,434個であり、観測網の充実により、2003年8月までに気象庁が決定した震源の64パーセントが1998年1月から2003年8月に観測されたことになる。第3図はこれらの地震について、マグニチュード(M)と累積個数(N)を示したもので、マグニチュード2付近で累積個数Nの増加が頭打ちになっており、この地域で地震が漏れなく観測されているのは、マグニチュード2以上と考えられる。

しかし、この期間には火山性地震や2003年7月26日に宮城県北部で発生したM6.2に起因する余震が含ま

れており、定常的な内陸地震活動をあらわしているとはいえない。このように不均一なデータではあるが、地震が発生している地域では地震発生層が見てとれるだけの十分な数のデータが存在する。よって本報告では震源決定精度がほぼ同様であると思われる1998年から2003年8月までの気象庁一元化震源データを使用することとする。

### 4. 震源分布

第4図は、1998年1月～2003年8月の期間に発生した地震の震源を「秋田」地熱資源図の上にプロットしたもので、火山フロントに沿って活発な地震活動が見られる。また、2003年7月26日に宮城県北部のほか、1962年宮城県北部地震や1996年の鬼頭地震の余震域で引き続き活発な地震活動が続いていることが見て取れる。また、図中青色に塗りつぶして示している深層熱水資源賦存地域では、地震がほとんど発生していない。

第5図は0.1度で区切った区画内で発生した地震の浅いほうから10%目の地震が発生した深さ(震源深さの上限)と90%目の地震が発生した深さ(震源深さの下限)を示す。ただし、5個以下しか発生しなかった区画は削除した。

同様に第6図は、「新潟」の深さ45kmまでの震源分布、第7図は地震発生層上限下限を示す。この地域は「秋田」より内陸地震活動が活発で広い地域にわたって地震が分布しているが、深層熱水資源賦存地域では、一部を除き地震がほとんど発生していない。

### 5. 深層熱水資源賦存地域「古川」

深層熱水資源賦存地域「古川」の西は火山フロントが通過しており、栗駒山や鳴子火山で地震活動が活発であり、東側は1962年宮城県北部地震(M6.5)の余震域に活発な地震活動が観測される。また、2003年7月26日にはこの地域の南東で宮城県北部地震(M6.2)が発生した。深層熱水資源賦存地域「古川」の周囲では地震活動は活発であるが、熱水資源賦存地域では地震が発生していない空白域となっている。第8図に、鳴子火山-1962年のM6.5の余震域を含むほぼ東西の地域と深層熱水資源賦存地域「古川」の南西に位置する地震群-1962年のM6.5の余震域、に沿った震源分布断面図を示す。この地域は、鳴子火山の発生機構を解明するため、地震波の波形解析や電磁探査等を用いた研究が活発に行われており(Mitsuhashi *et al.*, 2001)、1962年の地震を発生した地震断層の下や深層熱水資源賦存地域「古川」の地下15kmに地震波反射面が存在していることが明らかになった(Hasegawa *et al.*,

2000)。現在、2003年宮城県北部地震の震源過程の解明が進んでおり、これらの成果を検討することで、深層熱水のメカニズムについての理解が深まることが期待される。

## 6. 議論

「秋田」・「新潟」地熱資源図と地震活動度を比較してみると、深層熱水資源賦存地域では地震があまり発生していない。ただし「新潟」の日本海側にある深層熱水資源賦存地域は例外的に多くの地震活動が見られる。このことは、地熱資源図に示されている深層熱水資源地域とされる地域が正しいとすれば、前弧と背弧では深層熱水資源の地殻内における状況が違う可能性がある。使用した、気象庁一元化データカタログ期間が短いので、震源分布が定常的なものをあらわしていないと思われるが、十分な数の震源があるので、Clustering Analysis (例えば、Gvishiani and Dubois; 2002) を行なうことで、隠れている構造が明らかになると思われる。

熱水資源賦存地域「古川」については、垂直断面図上で空白域がお椀状になっている。これは、1962年・2003年の宮城県北部地震の地震断層が西に傾斜しているため、余震分布も断層に沿う形となり、お椀状の西側を形作っていると考えられる。一方、東側では鳴子火山から深層熱水資源賦存地域「古川」に向けて地震発生層下限は下降している。このことは地殻熱流量が減少していることを示している可能性がある。今後、これら反射面となっている水と深層熱水との関係を中心に検討を進めたい。

## 7. まとめ

既存の観測点によって検測された気象庁震源一元化データを使用し、東北地方における地震の震源分布と深層熱水資源賦存地域との相関を調べた。稠密な地震観測網が整備されてからの期間が短いため、用いたデータが東北地方の定常的な地震活動を十分反映していない可能性があるが、深層熱水資源賦存地域では地震活動があまり活発でないことがわかった。地殻内部に発生する地震について、震源の深さ分布の下限を求めた。Ito (1990)らによれば、震源の深さ分布の下限は地殻熱流量と相関があるといわれており、今後地殻熱流量との比較を行い、あるいは震源分布データから地殻深部の温度分布について情報を抽出することも有用

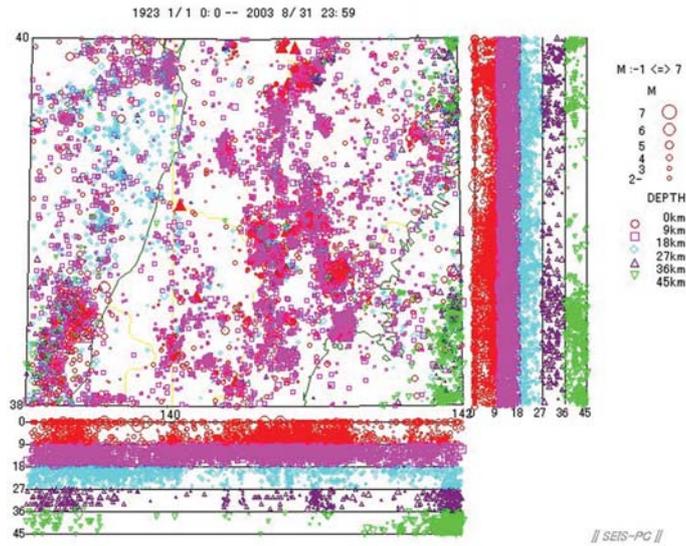
であろう。深層熱水資源賦存地域「古川」の周囲は地震活動が活発であり、地震波形を用いた地震反射面の位置の同定など多くの研究成果が出ている。また、2003年宮城県北部地震の震源域は、調査が進行中であり、今後より詳細な地殻内の状況が明らかになってくることが期待される。

**謝辞**：本報告で使用した気象庁震源一元化データは、京都大学防災研究所よりデータの提供を受けた。なお、震源分布図作成には、SEIS-PC for Windows を使用した。ここに謝意を表す。

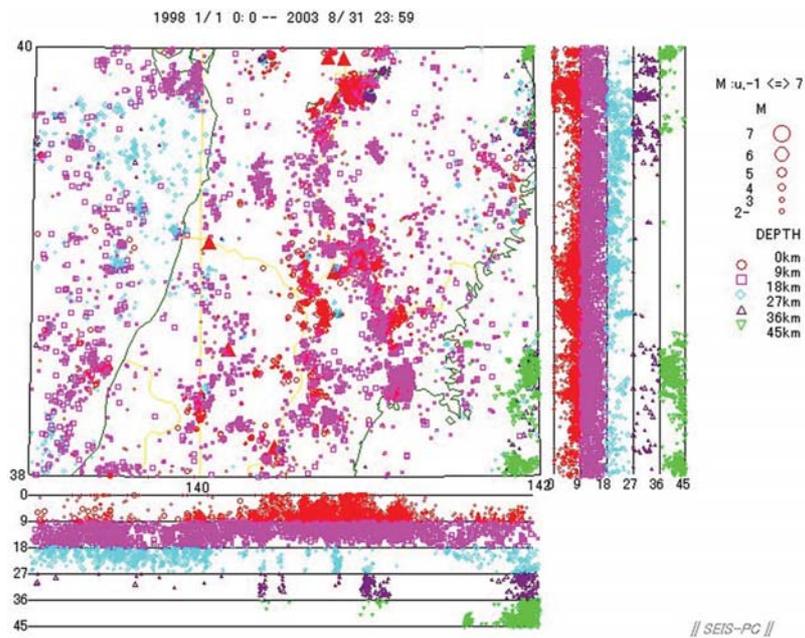
## 文 献

- Gvishiani, A. and Dubois, J.O. (2002) Artificial Intelligence and Dynamic Systems for Geophysical Application, *Springer, Berlin*, 347p.
- Hasegawa, A., Yamamoto, A., Umino, N., Miura, S., Horiuchi, S., Zhao, D. and Sato, H. (2000) Seismic activity and deformation process of the over-riding plate in the northeastern Japan subduction zone, *Tectonophysics*, **319**, 225-239.
- Ito, K. (1990) Regional Variations of the Cutoff Depth of Seismicity in the Crust and Their Relation to Heat Flow and Large Inland-Earthquakes, *J. Phys. Earth*, **38**, 223-250.
- Mitsuhashi, Y., Ogawa, Y., Mishina, M., Kohno, T., Yokokura, T. and Uchida, T., (2001) Electromagnetic heterogeneity of the seismogenic region of 1962 M.6.5 Northern Miyagi Earthquake, north-eastern Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 4371-4374.
- 高橋正明・駒澤正夫・村田泰章・玉生志郎 (1997): 50 万分の1秋田地熱資源図説明書 (31-2), 地質調査所, 162p.
- 高橋正明・山口 靖・野田徹郎・駒澤正夫・村田泰章・玉生志郎 (1997) 50 万分の1新潟地熱資源図説明書 (31-1), 地質調査所, 116p.
- 田中明子・伊藤久男 (2002) 長野県西部地域における地殻内地震の下限深度とその場の温度, *地震*, **55**, 1-10.
- Turcotte, D. and Schubert, G. (1982) Geodynamics application of continuum physics to geologic problems, *John Wiley & Sons*, 450 p.

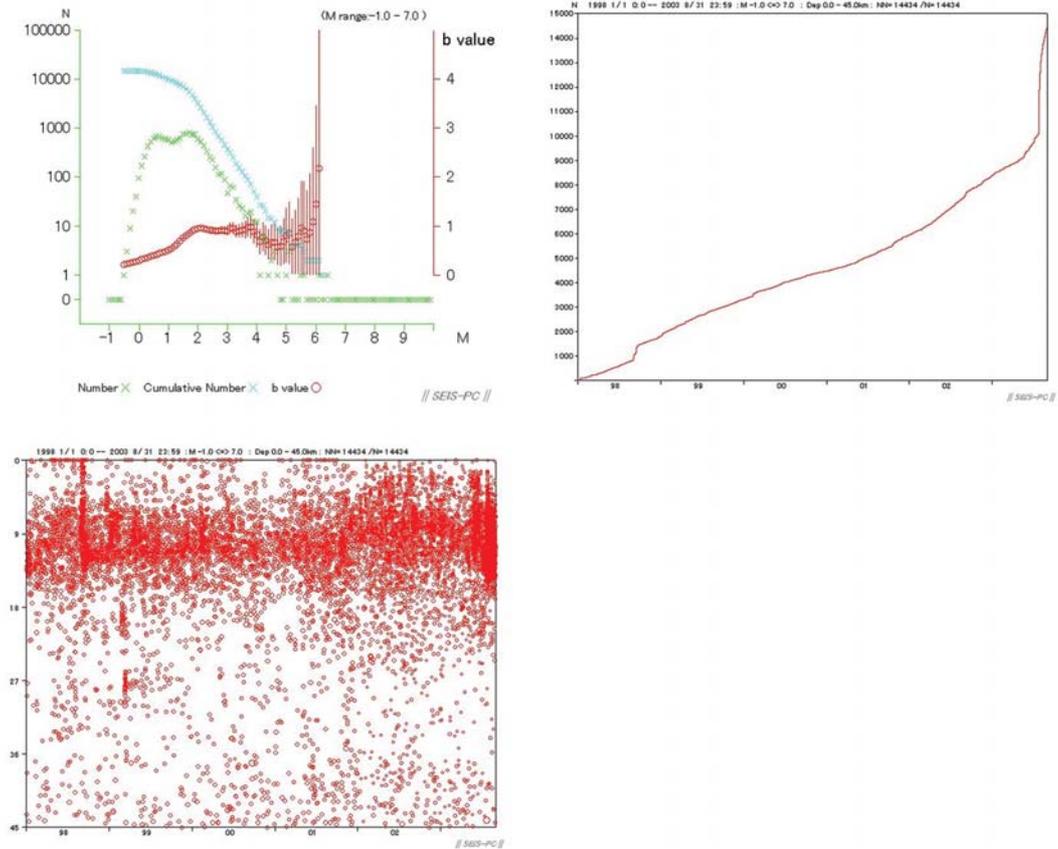
(受付：2004年10月26日；受理：2004年12月16日)



第1図 1923年から2003年8月までの50万分の1「秋田」における浅発地震の活動。  
 Fig. 1 Shallow earthquakes occurred in the map of 1:500,000 scaled "Akita" from 1923 to August 2003.

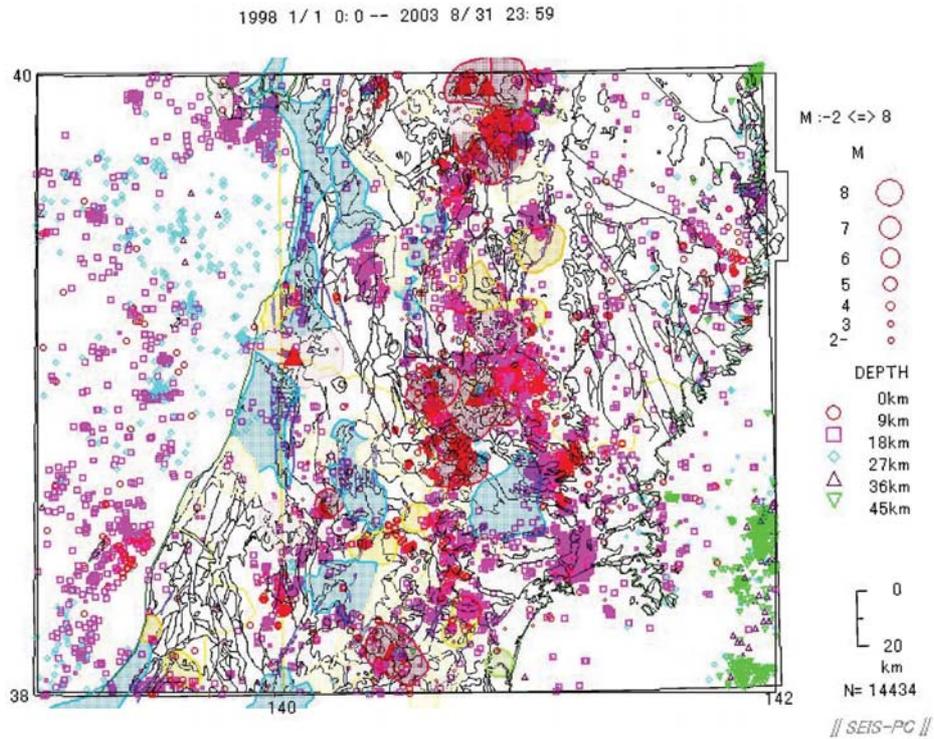


第2図 1998年から2003年8月までの50万分の1「秋田」における浅発地震の活動。  
 Fig. 2 Shallow earthquakes occurred in the map of 1:500,000 scaled "Akita" from 1998 to August 2003.



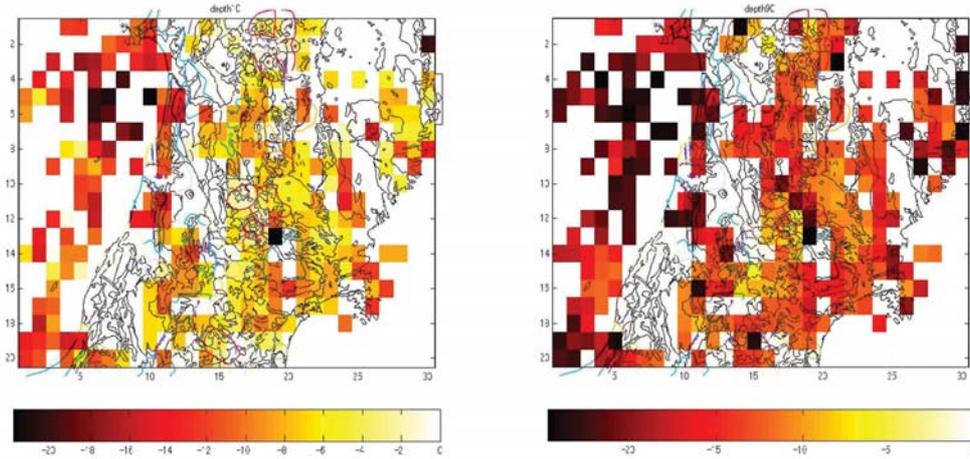
第3図 第2図に震源を示した地震の規模別頻度分布とb値 (左上), 累積個数 (右上), 震源の深さ (左下) の経年変化.

Fig. 3 Upper left diagram: Magnitude histogram and b-values of earthquakes of which hypocenters are shown on Fig. 2, Upper right diagram: Annual change of cumulative number of earthquakes, Lower left diagram: Annual change of depths of hypocenters

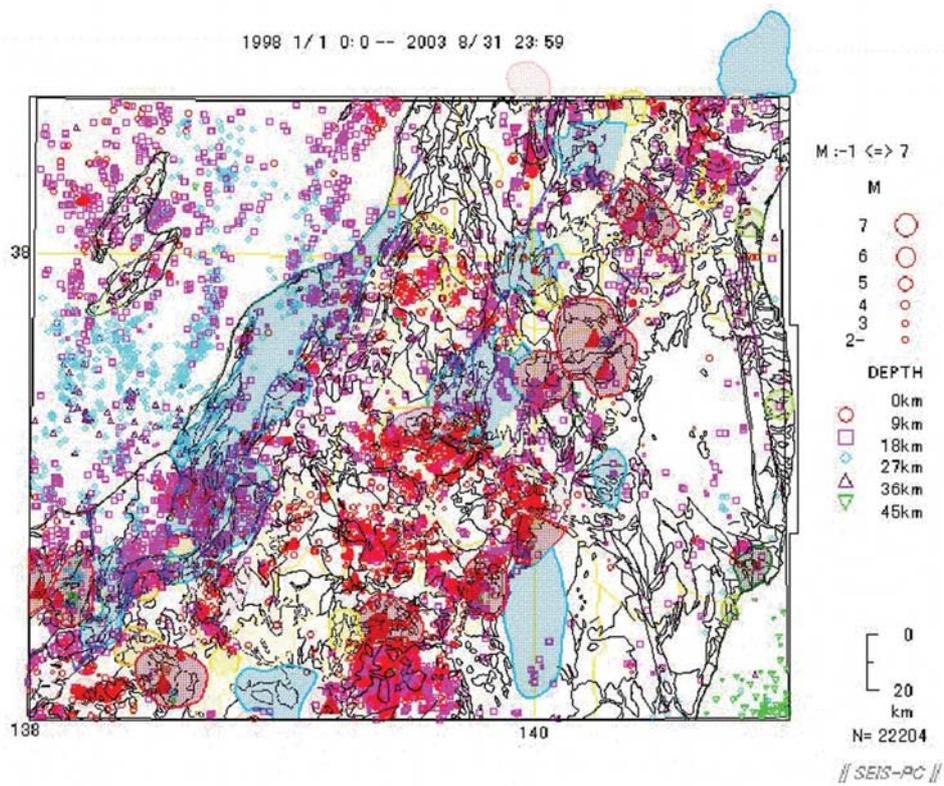


第4図 1998年から2003年8月までの地震活動度と秋田地熱資源図.

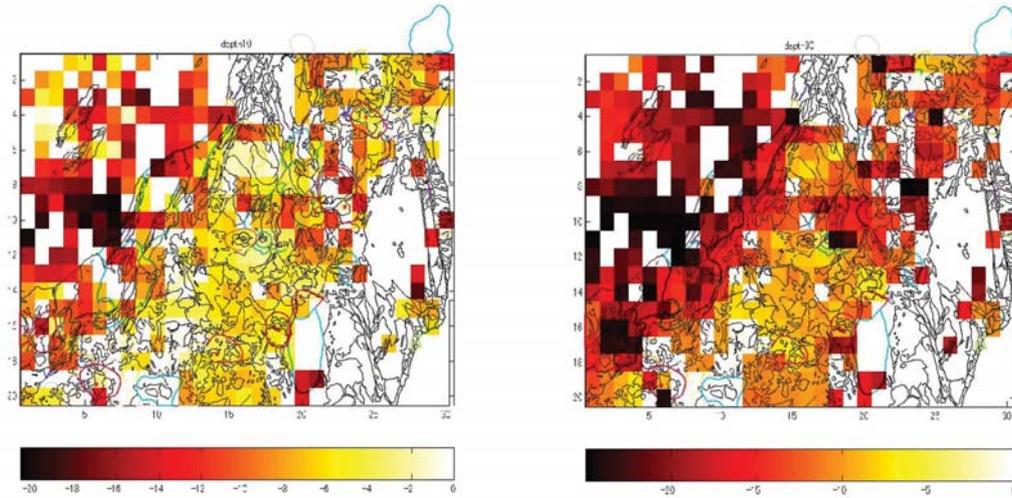
Fig. 4 Comparison between earthquake activities from 1998 to August 2003, and 1:500,000 scaled geothermal resources map "Akita"



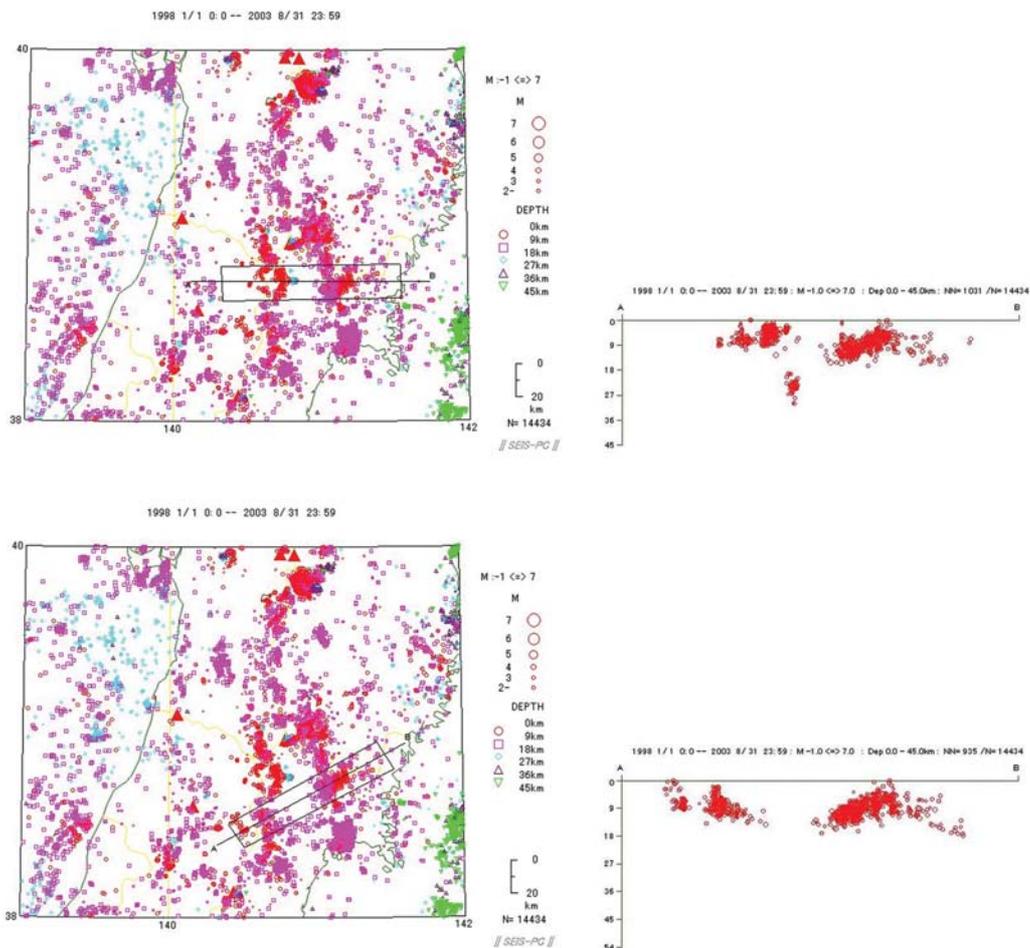
第5図 秋田地熱資源図と地震発生層上下限. 0.1-間隔の震源深さの上限 (左) と下限 (右). 色が暗色になるに従い, 深度が深くなる.  
 Fig. 5 1:500,000 scaled geothermal resources map "Akita" and upper & lower limits of depths of epicenters gritted by 0.1∞. Left diagram: Upper limits, Right diagram: Lower limits. Color legends: The darker the deeper for depths of epicenters.



第6図 1998年から2003年8月までの地震活動度と新潟地熱資源図.  
 Fig. 6 Comparison between earthquake activities from 1998 to August 2003, and 1:500,000 scaled geothermal resources map "Niigata"



第7図 新潟地熱資源図と地震発生層上下限. 0.1-間隔の震源深さの上限 (左) と下限 (右上). 色が暗色になるに従い, 深度が深くなる.  
 Fig. 7 1:500,000 scaled geothermal resources map "Niigata" and upper & lower limits of depths of epicenters gritted by 0.1∞. Left diagram: Upper limits, Right diagram: Lower limits. Color legends: The darker the deeper for depths of epicenters.



第8図 深層熱水資源賦存地域「古川」周辺の震源分布. 鳴子火山—1962年のM6.5の余震域を含むほぼ東西の地域 (右上図). 深層熱水資源賦存地域「古川」の南西に位置する地震群—1962年のM6.5の余震域 (左下図).  
 Fig. 8 Epicenter distribution maps in and around the deep-seated geothermal resources area "Furukawa". Upper right diagram: East-West cross section along the "Furukawa" area from Narugo volcano to the aftershock region of 1962 earthquake (M6.5). Lower right diagram: Northeast-Southwest cross section along the "Furukawa" area, including the aftershock region of 1962 earthquake (M6.5) to the southwest of "Furukawa" area.