

大大特・地殻構造探査における関連データのデータベース化とGISの利用

廣瀬一聖・伊藤 潔・森下可奈子・野口竜也*・板場智史**

* 鳥取大学 工学部 土木工学科

** 現所属:産業技術総合研究所 地質情報研究部門

要 旨

大大特(大都市大震災軽減化特別プロジェクト)による近畿圏の地下構造探査では、活断層の下部構造や反射面と構造との関係など、様々な問題点が明らかにされると期待されている。地震波速度構造探査の結果と、探査地域周辺の震源分布や重力異常、地殻熱流量などの関連データを比較することは、地震発生過程の解明や強震動予測にとっても有効であると思われる。そこで本研究では、それらの関連データの収集を行い、GIS(地理情報システム)上でデータベース化した。GISは、複数の物理量の相互関係を把握するのに非常に有効なツールであり、近年では地球科学の様々な分野で用いられるようになってきた。今後、本研究で収集したデータは、種類や領域を広げるとともに、他の研究でも利用できるよう公開していく予定である。

キーワード: 地殻構造探査, 地震活動, 活断層, 地球物理学関連データ, GIS

1. はじめに

大大特(大都市大震災軽減化特別プロジェクト)による近畿圏の都市圏地下構造探査が2004年秋に実施された(Fig.1)(伊藤ら, 2005)。この調査により、フィリピン海プレートの形状、有馬-高槻構造線や中央構造線などの活断層の深部構造、活断層と地殻下部に見られる反射面との関係、地殻構造と低周波地震の関係など、様々な問題が明らかにされると期待されている。また、制御震源による調査は測線上でおこなわれているので、これを補い、面的な構造調査のために自然地震による構造調査も実施されている(西村ら, 2005)。これらの構造探査によって得られた地震波速度構造を、震源分布、発震機構、重力異常、地殻熱流量などの観測データと空間的に

比較することは、構造探査の結果の地学的な理解を助けるだけでなく、地震発生過程の解明、強震動の予測などにとっても有効であると思われる。また、異種の観測データを空間的に比較することによって、単独データだけでは見出せなかった事象が発見できるケースが多い。例えば、伊藤ら(2004)は、上部地殻の破壊(地震活動)により地殻構造が複雑化すると、その領域の密度構造も複雑化する可能性を考え、中部～西南日本の重力異常データと地形データを統計的に比較し、重力異常のRoughnessの水平変化と、地形のリニアメント(被破壊の痕跡)が集中することを見出した。野口ら(2004)は、山陰地方の地震活動と重力異常を比較し、それらに関連性がある地域が見られたことを報告している。その他にも、重力異常と活断層の関係(岡田ら, 2003など)や、

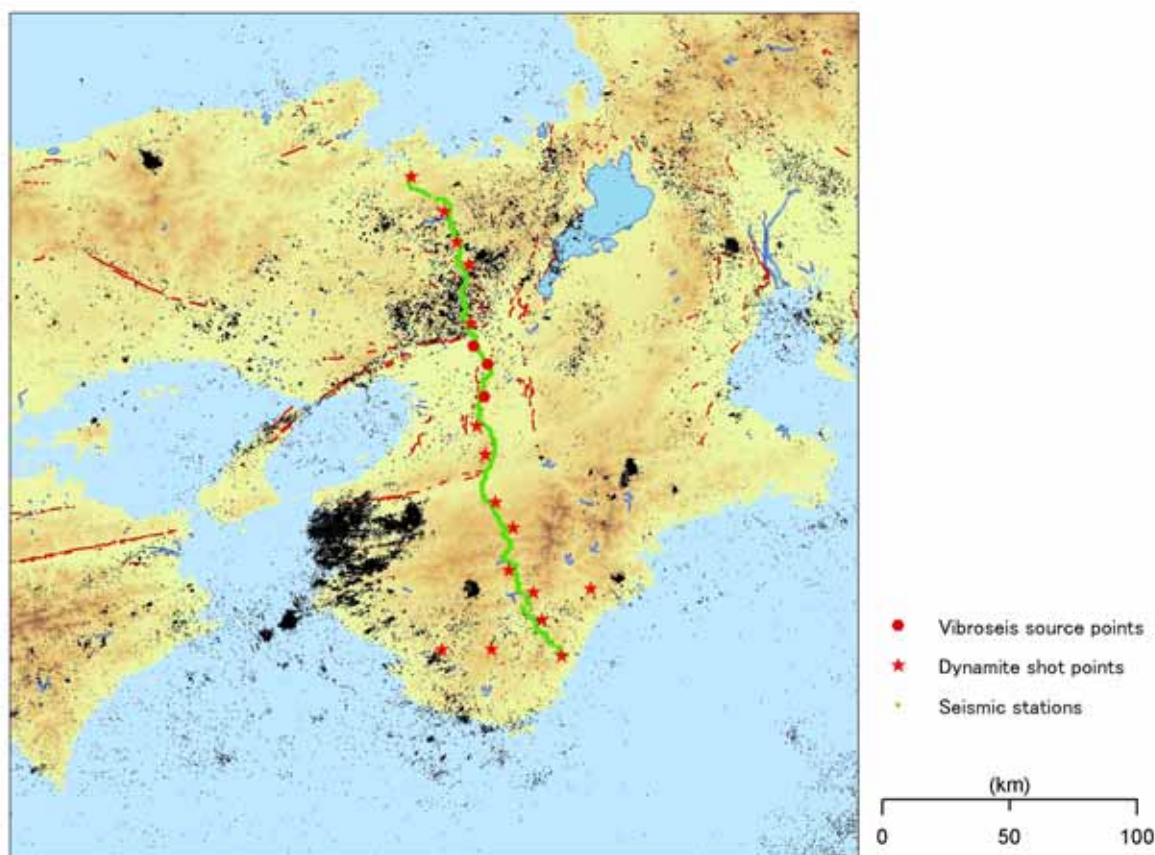


Fig.1 Location of shots (red stars), multiple vibration points (circles) and observation stations (green dots) of seismic survey in 2004. Dots show epicenter of earthquakes with $M > 3$ and depth $< 30\text{km}$ from Oct., 1997 to Dec., 2004 after JMA unified hypocenter data. Active faults (red lines) are also indicated.

地殻内地震の深さ分布と地殻熱流量の関係（Sibson, 1982；Ito, 1990；森谷, 1993；宝来・他, 1994 など）など、数多くの報告がなされてきている。

本研究では、近畿地方で行われた都市圏地下構造探査の解明を目的として、主に近畿圏における関連データの収集、データベース化を行い、収集したデータを他のデータと容易に比較、解析が行えるよう、GIS（地理情報システム）上で閲覧、解析が行えるようにした。本稿では、まず GIS の基本的な機能と、収集したデータについて簡単に説明し、さらに GIS での表示例を示す。

なお、本研究では ESRI 社の ArcGIS を用いて、データの管理や解析等を行った。

2. GIS

GIS（Geographic Information System; 地理情報システム）は土地利用調査、市場調査、資源管理、ハザードマッピングなどの目的で、社会学や地理学の分野で開発され、発展してきたソフトウェアであるが、

地震活動や重力異常などの地図に表現する現象を比較、評価するのに非常に有効であるため、近年では地球科学分野で広く使われるようになってきた。地図上に物理量を表現するツールとしては GMT(Wessel and Smith, 1995)などがよく用いられているが、ここでは GIS を用いる利点と GIS の基本的な機能を簡単に紹介する。

GIS では、緯度経度などで表現された座標データだけでなく、航空写真や印刷された図など、多様な空間データを同一のデータベース上で取り扱えるよう、データのフォーマットを合わせることができる。また、異なる座標系、投影法を持つデータを正確に比較するための座標変換の機能も備わっている（データの標準化）。標準化された各データは、それぞれ 1 つのレイヤー（層）としてファイル化し、データベースを構築する。このように、データの標準化やデータベース化によって、任意の複数のデータの重ね合わせ表示（オーバーレイ）や空間的解析などの解析処理を容易に行うことができる。Fig.2 にデータ処理作業の表示例を示す。ここでは、本研究で作

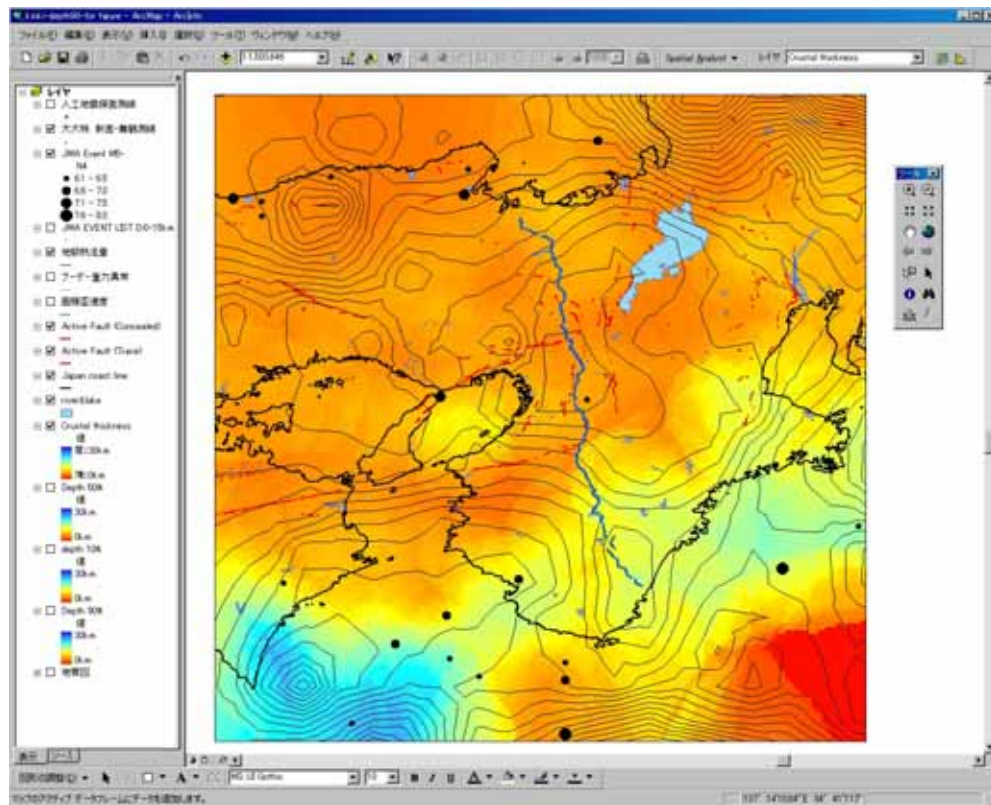


Fig2. An example of operation of GIS. Variations in thickness of the seismogenic layer (color image) are superposed on the contours of heat flow values.

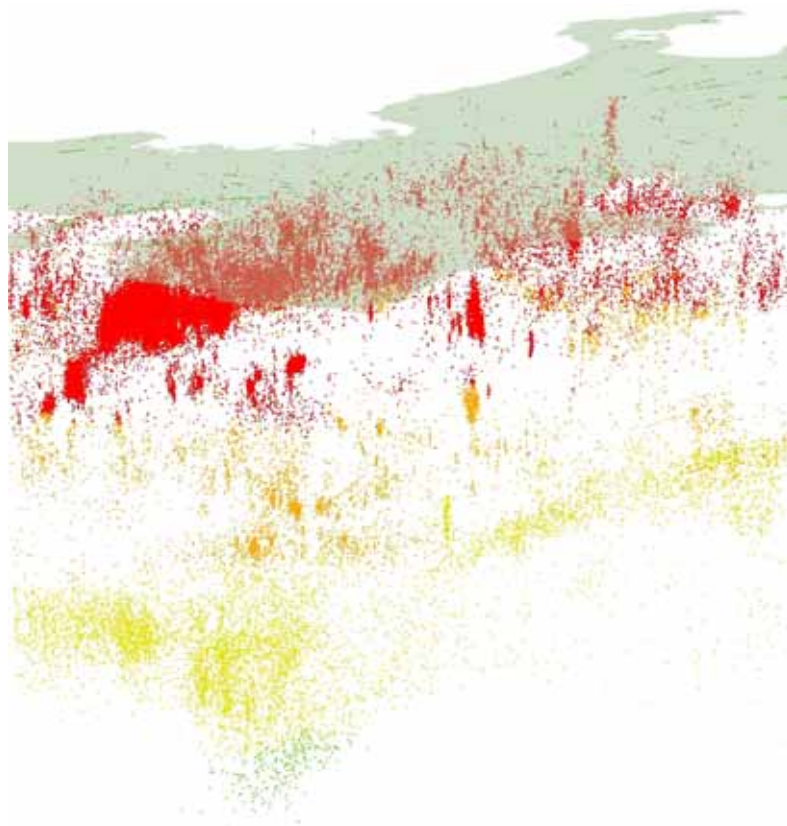


Fig.3 A 3D-distribution of hypocenters from Oct., 1997 to Dec., 2004 with $M > 3$ after JMA. Depth is exaggerated by 2.5 times. The view can be rotated to any directions.

成したデータベースから，近畿地方における内陸地震発生層の下限分布(カラー分布)と地殻熱流量(コンター)，活断層分布を選択し，表示した。このように，GISの基本操作は，任意の空間データを重ね合わせるにより，目的の図を作成することである。さらに，ArcGISでは空間データの三次元的な表示・解析を行うことができる。Fig.3は気象庁地震カタログによる震源分布を，深さを2.5倍に拡大し俯瞰したものである。マウス操作や動画機能によって，三次元表示のまま，図を任意の方向に回転させることによって，震源分布や地震波速度構造などの三次元データを立体的に把握することができる。

また，異種のデータの定量的な比較を行うために，離散的なデータの補間処理や，空間データの数値処理(空間微分など)，統計処理，距離計算，密度計算などのツールも組み込まれている。例えば，活断層の活動度の評価を行うために，活断層データと震源記録を用いて，活断層から一定の範囲内で発生した地震の数や密度，さらにそれらの時間的な変化を求めるといった複雑な処理を対話的に行うこともできる(板場ら，2003)。

3. データとGISの利用

本研究で収集し，閲覧，解析を行えるデータの例を列記する。さらに，それらのGISによる表示例をFig.4～Fig.8に示す。

- ・震源記録(気象庁一元化震源など)
- ・発震機構(P軸)
- ・重力異常
- ・GEONETデータから求めた面積歪速度・線歪速度
- ・地形(標高データ)，河川，湖沼
- ・地質図
- ・活断層
- ・地温勾配，地殻熱流量
- ・地震発生層の上限，平均，下限及び厚さ分布
- ・各機関の自然地震観測点・GPS観測点
- ・過去に行われた制御震源探査測線など

Fig.4(a)に示した地殻内地震の発生層の下限分布は，気象庁一元化震源カタログから地殻内震源データを作成し，0.1度メッシュ内の震源の下限(D90%)を示した。正確に地殻内震源を分離するためには，震源の断面の分布やメカニズム等から分離する必要があるが，ここではおおまかな分布を見るに留めたので，深さ30km以浅の震源のみを用いた。それゆえ，海域ほど信頼性は落ちる。地殻内の地震の精密な分離は今後の課題である。また，Fig.5のGPS記録に

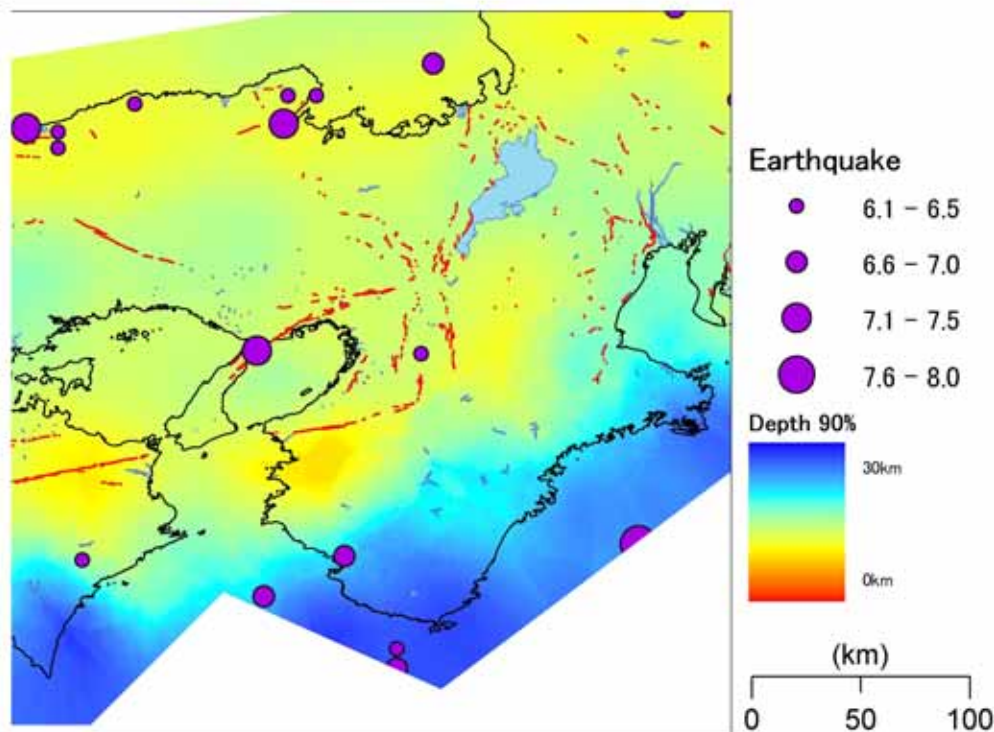


Fig.4(a) Variations of lower bound (D90%) of seismicity above which 90% events occur. Dots indicate large earthquake with M 6 or greater from 1926 to 2004. Red lines show active faults.

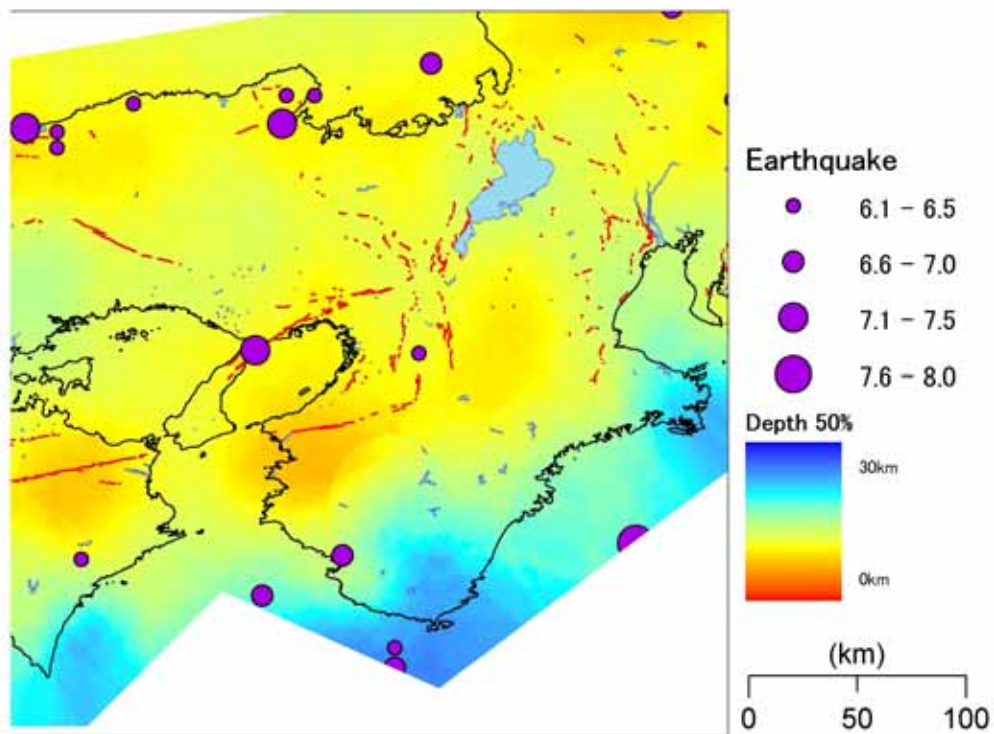


Fig.4(b) Variations of average depth (D50%) of seismicity above which 50% events occur. Dots indicate large earthquake with M 6 or greater from 1926 to 2004. Red lines show active faults.

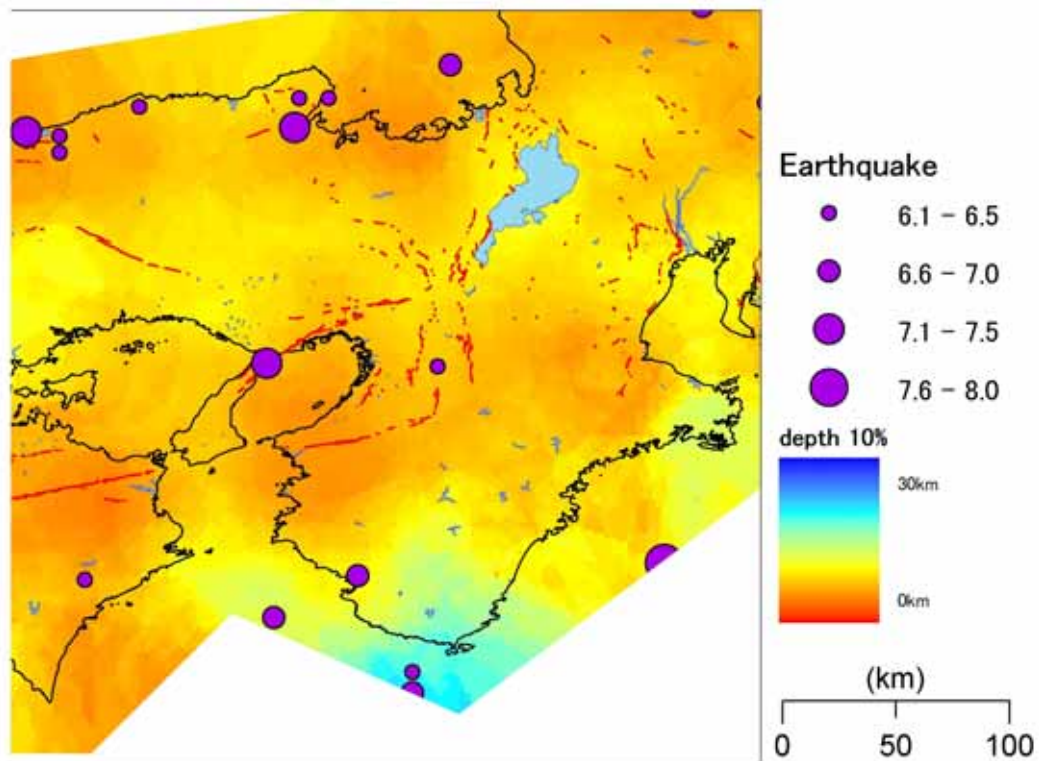


Fig.4(c) Variations of upper bound (D10%) of seismicity above which 10% events occur. Dots indicate large earthquake with M 6 or greater from 1926 to 2004. Red lines show active faults.

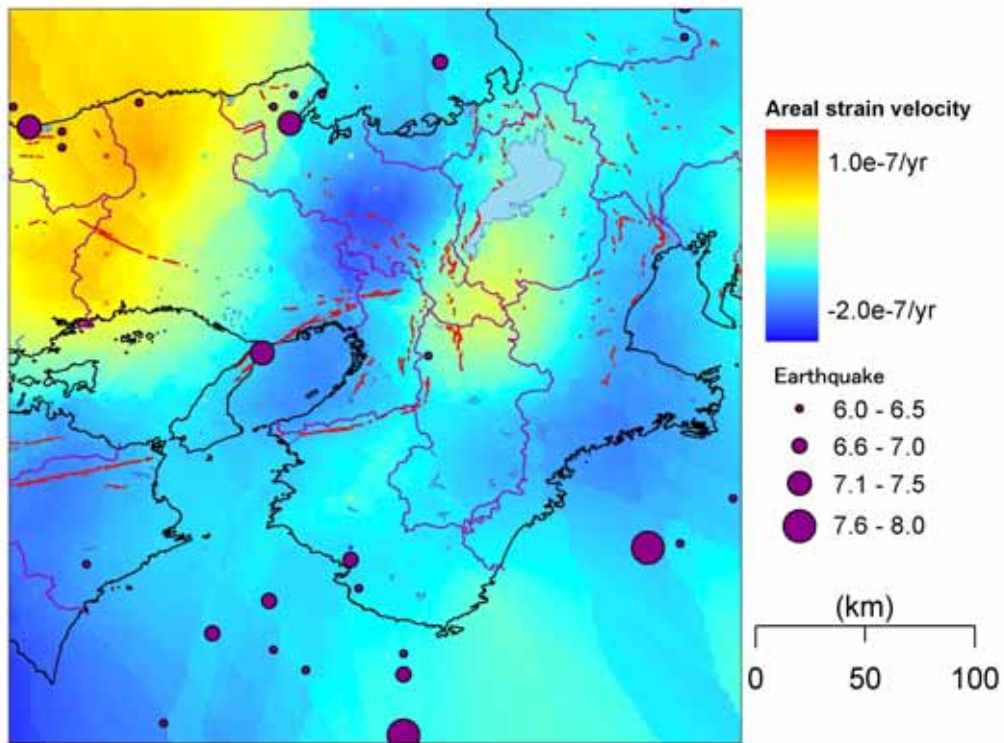


Fig.5 Variations of areal strain velocity derived from GEONET data from 1998 to 2000. Dots show large earthquakes since 1926 and red lines show active faults.

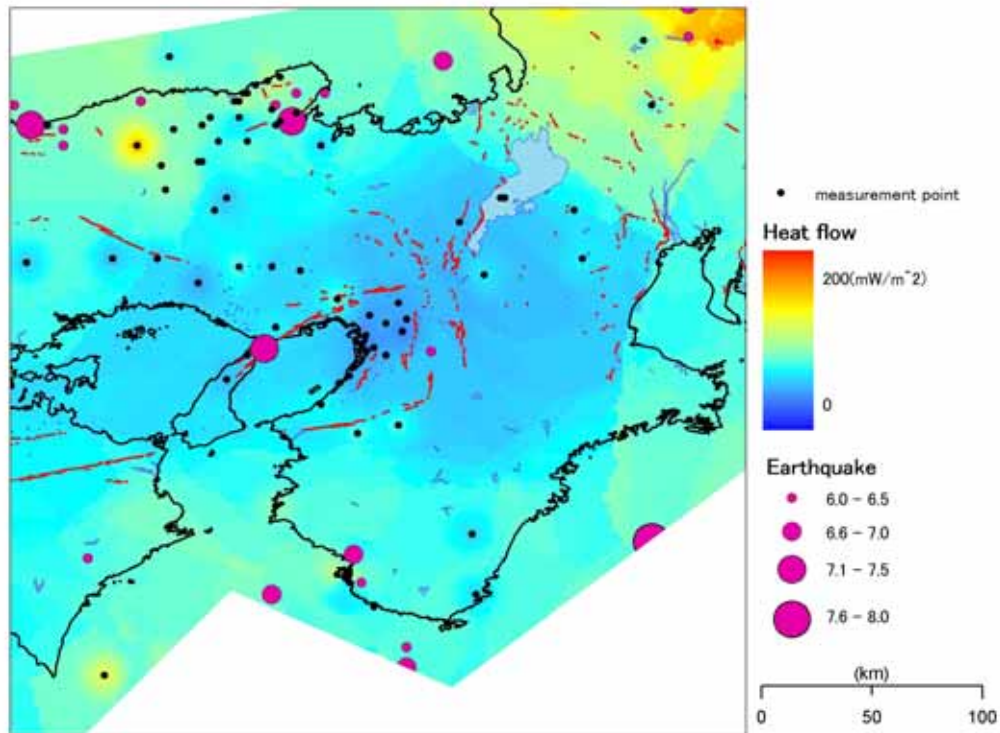


Fig.6 Variations of heat flow value. Dots indicate large earthquake with M 6 or greater from 1926 to 2004.

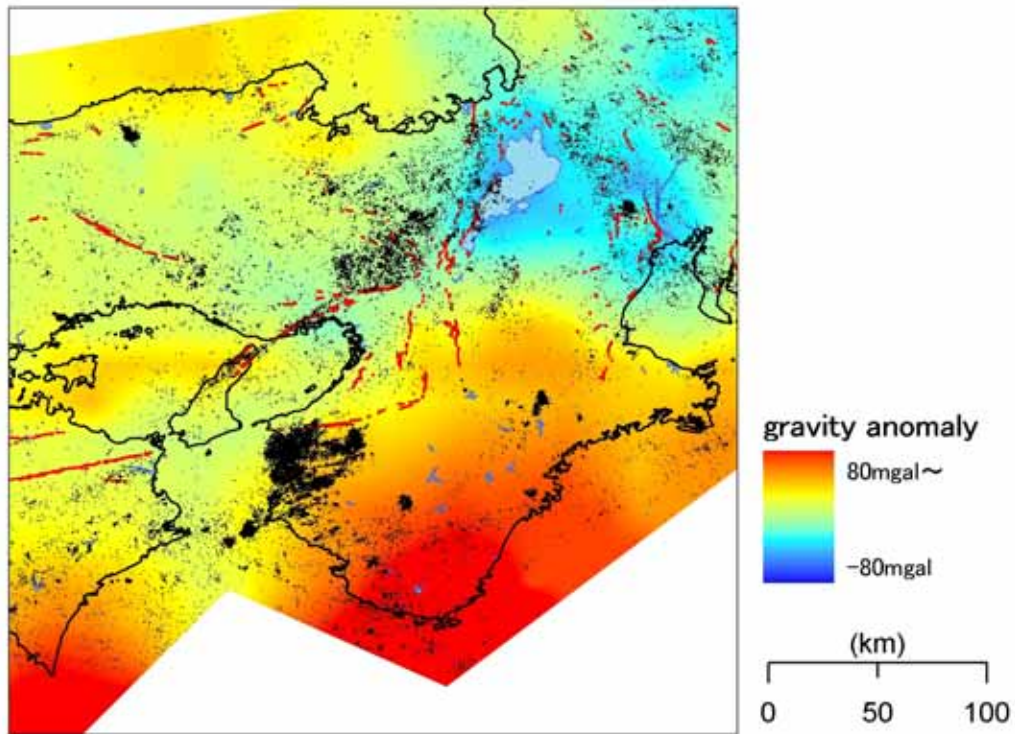


Fig.7(a) Variations of Bouguer gravity anomaly after Komazawa(2000). Dots indicate epicenter distribution of earthquakes with $M>3$ and depth $<30\text{km}$ from Oct., 1997 to Dec., 2004. Red lines show active faults.

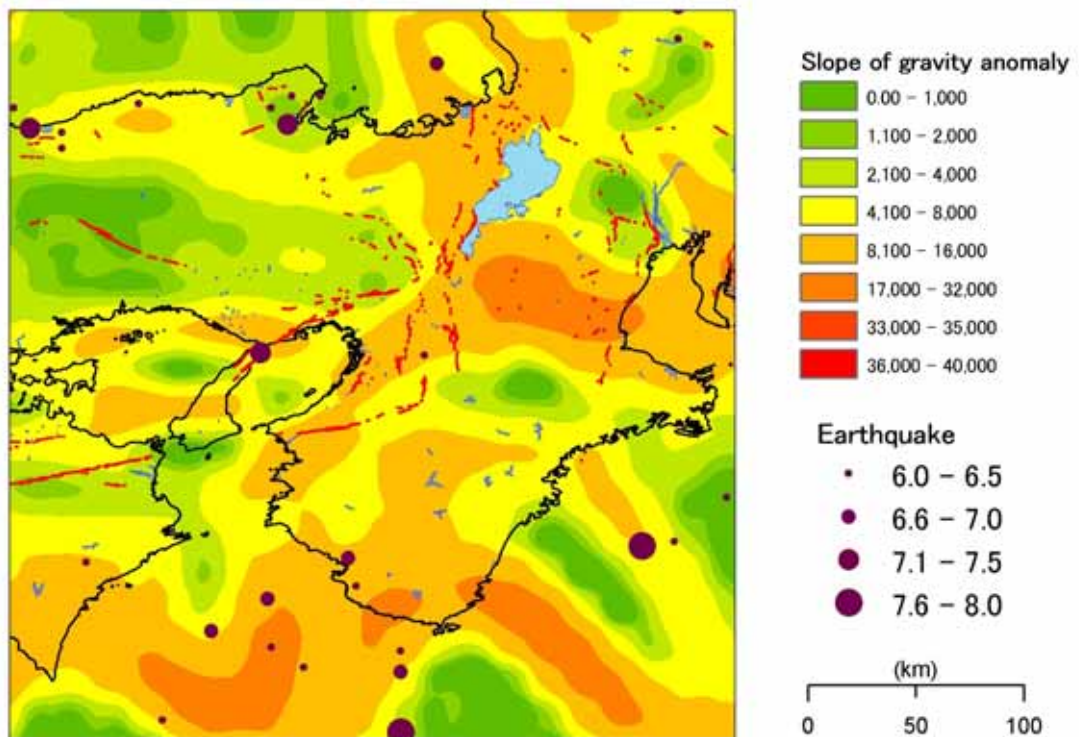


Fig.7(b) Gradient of gravity anomaly. Dots indicate large earthquake with $M\ 6$ or greater from 1926 to 2004. Red lines show active faults.

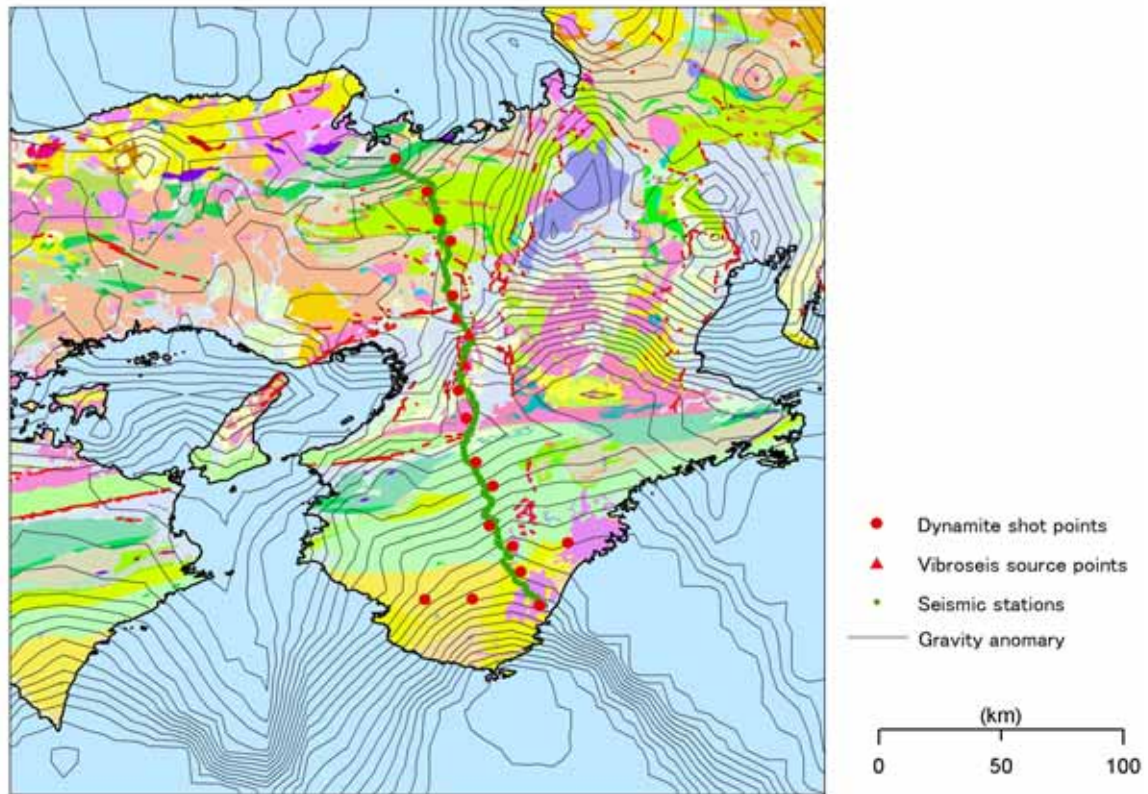


Fig.8 Geological map and contours of gravity anomaly. Green dots indicate observation stations, and red dots and triangles, respectively, indicate shot and multi-vibration points of seismic survey in 2004.

よる面積歪速度・平面歪速度は、1998年1月1日から2000年5月31日までの日値記録を用いた。図の全域を0.2度メッシュに切り、格子点上の変位速度を、近接する観測点までの距離と値から最小自乗法によって内挿して求め、変位速度からグリッドごとの面積歪速度、平面歪速度を求めた。さらに、観測値をクリギング（Kriging）法によって、領域全体の内挿、コンター化を行った。地殻熱流量や重力異常も同様に、クリギング法によって内挿を行った。近畿地方における地殻熱流量の測定数は必ずしも多くはないが（Fig.6）、近畿地方中部で低く、南部、及び北部でやや高い傾向が見られる。地殻熱流量と地殻内地震の下限の深さ（もしくは地震発生層の厚さ）には、一般的に負の相関があることが知られており（例えば Ito, 1990）、Fig.2に見られるように、内陸地震の下限分布は、南部の海域に近い部分を除けば、地殻熱流量と調和的な分布が得られていることがわかる。

Fig.7(a)には重力異常の分布を示す。Fig.7(b)は、重力異常の傾斜分布を求めたものと、M5以上の地震分布を比較した図であるが、傾きの大きな領域で、やや規模の大きな地震が発生しているように見える。また、Fig.5に示すように面積歪の大きさが急変すると

ころで地震が発生しているように見える。このように、GISを用いることにより、将来、地震活動が起こりうる可能性の高い領域の推定を行うことも可能であろう。

4. まとめと今後の予定

本研究では、近畿地方で実施された制御震源による構造探査によって得られた反射法イメージや弾性波速度断面と比較、検討を行うための関連データの収集を行い、それらのデータをGIS上で扱えるようにデータの変換およびデータベース化を行った。今後、構造探査の結果が得られれば、それらを追加し、地震波速度、反射面の分布などと種々のデータの比較を行う予定である。また、本研究ではこれまで、近畿地方を中心にデータの収集、変換を行ってきたが、今後は日本全国に範囲を広げるとともに、データの種類を増やしていく予定である。さらに、本研究によって収集されたデータは、本研究に限らず関連する分野で広く利用されるように、ホームページなどを利用して、利用希望者に公開していく予定である。ただし、これらのデータには著作権のあるものも含まれているため、それらについては利用者で別途購

入していただく必要がある。

謝 辞

本研究ではESRI社のArcGISを用いてデータの変換、表示、解析を行った。地形データは、国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)CDを使用した。歪データは、国土地理院のGPS観測網、GEONETの記録を使用した。地震活動のデータは気象庁一元化震源データを用いた。その他関連データを提供していただいた各機関に、併せて御礼申し上げます。

参考文献

- 板場智史・渡辺邦彦・西田良平・野口竜也, 2003, 内陸における地震活動の定量的評価 第二報, 日本地震学会秋季大会, A043.
- 伊藤 潔・佐藤比呂志・梅田康弘・松村一男・澁谷拓郎・廣瀬一聖・上野友岳・森下可奈子・伊藤谷生・平田 直・川中 卓・黒田 徹・阿部 進・須田茂幸・斎藤秀雄・井川 猛, 2005, 近畿圏における大大特プロジェクトの地下構造調査, 京都大学防災研究所年報, 48B, 投稿中.
- 岡田真介・本多亮・平松良浩・河野芳輝, 2003, 重力異常急変帯と活断層の対応関係, 地球惑星科学関連学会合同大会, 2, Q042-003.
- 工藤健・山本明彦・古本宗充・志知龍一, 2004, 西南～中部日本における重力異常 Roughness の地域変化, 地球惑星科学関連学会合同大会, S053-008.
- 駒澤正夫, 2000, 日本重力異常グリッドデータベース, 日本重力 CD-ROM, 数値地質図 P-2, 地質調査所.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (編) (2003) 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版. 数値地質図 G-1, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 田中 明子・矢野 雄策・笹田 政克 (2004) 日本列島及びその周辺域の地温勾配データベース, 数値地質図 DGM P-5, 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
- 中田高・今泉俊文, 2002, 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会(製品シリアル番号; DAFM0248).
- 西村和浩・中尾節郎・辰己賢一・三浦勉・平野憲雄・山崎友也・富阪和秀・福島麻沙代・吉田義則・細善信・松浦秀起・澁谷拓郎・伊藤潔・大見士朗・廣瀬一聖・森下可奈子, 2005, 大大特: 紀伊半島における自然地震観測 ～観測システムとデータ処理の概要～, 京都大学防災研究所年報, 48B, 投稿中.
- 野口竜也・西田良平・渡辺邦彦・板場智史, 2004, 山陰地方の地震活動と重力異常の関係, 日本地震学会秋季大会, P153.
- 宝来帰一・佐々木喜三・小林洋二, 1994, 中部地方における地殻内地震の下限と地殻熱流量の関係, 地球惑星科学関連学会合同大会, 273-273.
- 森谷武男, 1993, 日高山脈-宗谷の浅い地震活動の深さ分布と地殻熱流量との関係, 日本地震学会秋季大会, p148.
- 山野 誠 (2004) 日本列島及びその周辺域の地殻熱流量データベース, 数値地質図 DGM P-5, 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
- Ito, K., 1990, Regional variations of cutoff-depth of seismicity in the crust and their relation to heat flow and large inland earthquakes, Jour. Phys. Earth, 38, 223-250.
- Sibson, R. H., 1982, Fault zone models, heat flow, and the depth distribution of earthquakes in the continental crust of the United States, Bull. Seismol. Soc. Am., 72, 151-163.
- Wessel, P., and W.H.F.Smith, 1995, New version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. Amer. Geophys. U., vol. 76(33), pp. 329.

Compilation of Data for GIS in Relation to the Seismic Surveys in the Kinki district under the Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in Urban Areas (DAIDAITOKU)

Issei HIROSE, Kiyoshi ITO, Kanako MORISHITA,
Tatsuya NOGUCHI*, Satoshi ITABA**

* Department of Civil Engineering, Tottori University

** National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Synopsis

In this study, we collect data sets for GIS to compare them with the resultant crustal structure obtained from seismic surveys conducted in the Kinki district under DAIDAITOKU project I. It is very important for the research of the seismogenic process and estimation of strong ground motion to compare various distributions of geophysical data. We have collected topography, active fault, gravity anomaly, heat flow value and seismicity data as well as seismic velocity and seismic reflectors. The data have been compiled and transformed to be utilized on GIS system. The GIS is a very convenient tool to measure two or more amounts of physical values expressed on the map, and it is also very useful to provide data on GIS for researchers, since it is widely used in various field, of studies. We are to increase the kinds of data and open them for research works.

Keywords: seismic survey, crustal structure, seismicity, collection of geophysical data, active fault, GIS