

研究紹介

地震の被害分布と重力基盤構造との関係

遠藤秀典¹

Hidenori ENDO (2000) Seismic hazard and gravity basement structure. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 51 (9), p. 463-469, 8 figs.

Abstract: The purpose of this paper is to introduce our research project, "Subsurface geology for the mitigation of the seismic hazard". The first argument concerns the similar relationship between the distribution of houses damaged by the earthquake and the gravity basement structure. Based on our analysis of 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake (Kobe), 1978 Miyagi-ken Oki Earthquake (Sendai) and 1994 Sanriku Harukaoki Earthquake (Hachinohe), it was revealed that the damaged houses were mainly distributed in steep gradient zones of the gravity basement. The second point to detail particularity among these seismic hazards is that the damaged areas are mainly located on the foot part (Kobe), graven-like part or shoulder part (Sendai), and broad part (Hachinohe) of the steep gradient zones.

要 旨

「地震災害に関する地下地質の研究」の計画の紹介として、地震による家屋被害の分布と重力基盤構造との関係について検討した。1995年兵庫県南部地震、1978年宮城県沖地震及び1994年三陸はるか沖地震による家屋被害の主要な地域は、神戸、仙台及び八戸の各地域において、重力の勾配の大きな地帯に分布する。一方、それらの関係はそれぞれ異なっており、1995年兵庫県南部地震による神戸地域の主要な被害域は重力勾配の脚部に、1978年宮城県沖地震による仙台地域の被害は重力勾配の溝状及び肩の部分に、及び1994年三陸はるか沖地震による八戸地域の被害は重力勾配の大きな範囲全体に分布する。

1. はじめに

平成11年度から開始された工業技術院特別研究「地震災害に関する地下地質の研究」では、地震災害分布に関し、地下地質の重要な要素は何か、及びその情報提供の適切な方法は何かについて、調査・研究を行なっている。この研究は、平成7年度から平成10年度までの「生活環境に密接な地域地質要素の調査・解析手法開発の研究」で実施された防災、環境保全及び資源の合理的利用の一般的な調査研究に対し、それらのなかから地震災害関係部分に重点をおいたものであり、その他の内容をサブテーマ「都市地質の研究」として継続的に実施している。

これらのうち、地震災害関係では、深層から浅層・表層・造成地までを対象としている。いずれも地震災害に密接に関係し、それぞれが寄与する程度等は地震動の特性などの違いによって異なる。したがって、地震災害についての的確に予測し、その軽減を図っていくためには、地下地質の全体にわたる検討が不可欠である。

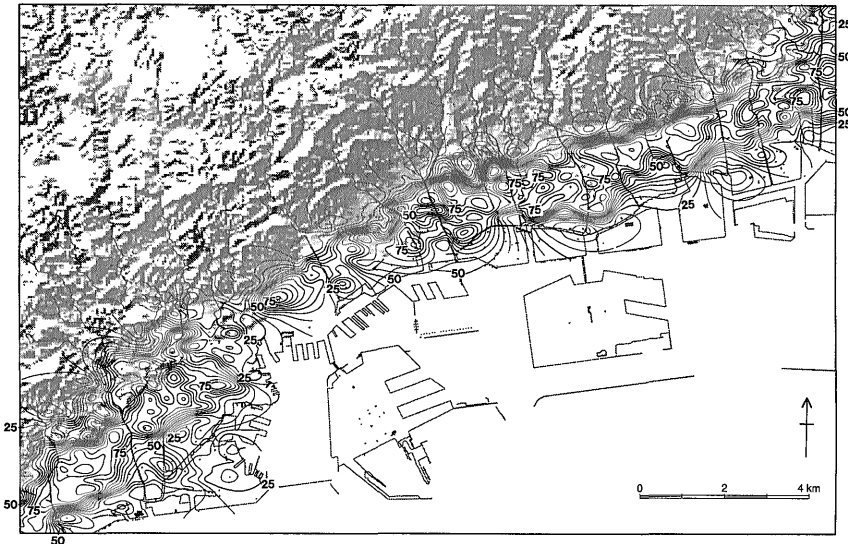
このため、研究計画では、地下地質の全体的な空間的分布を明らかにし、それらと地震災害履歴との関係をもとに地震災害分布の地質要因を検討する。また、それらの地下地質の情報を提供するマップの内容や表現方法などについても検討する。それらに基づいて、地震災害要因図などのモデル図を作成することを目標とする。

検討対象地域として神戸、仙台及び八戸の各地域を取り上げ、それぞれの地下地質と1995年兵庫県南部地震、1978年宮城県沖地震及び1994年三陸はるか沖地震による被害分布との関係を検討している。それらの地下地質の調査研究では、造成地の抽出法やその形状等、及び表層・浅層の地質や微動の周波数頻度分布特性の検討を行なう。また、基盤構造と地震災害との関係についても重点的に検討する計画である。

以下では、それらのうち、地震動分布の観点から、重力探査による重力基盤構造と地震災害分布との関係について、現在までの検討結果を整理し、その概略を報告する。

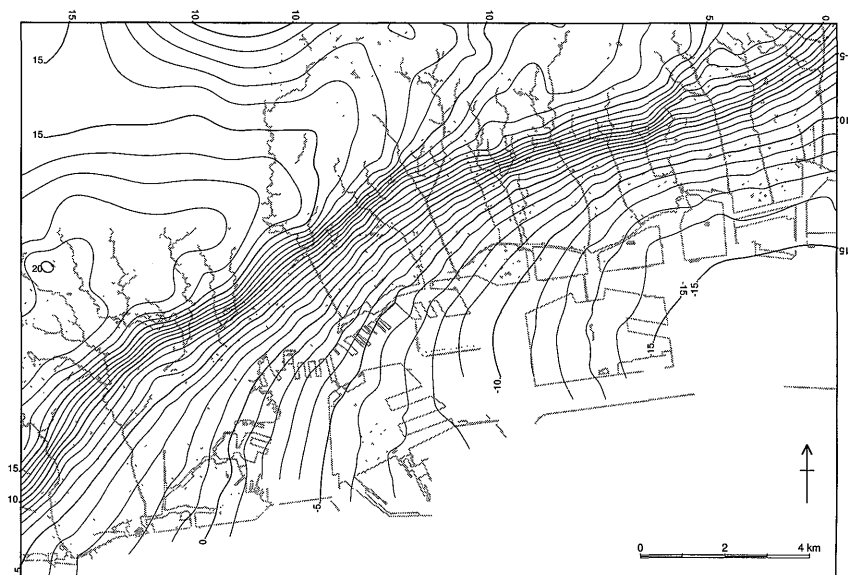
Keyword: 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, 1978 Miyagi-ken Oki Earthquake, 1994 Sanriku Harukaoki Earthquake, Kobe, Sendai, Hachinohe, seismic hazard, gravity, basement, environmental geology, urban geology

¹ 地質調査所環境地質部 (Environmental Geology Department, GSJ)



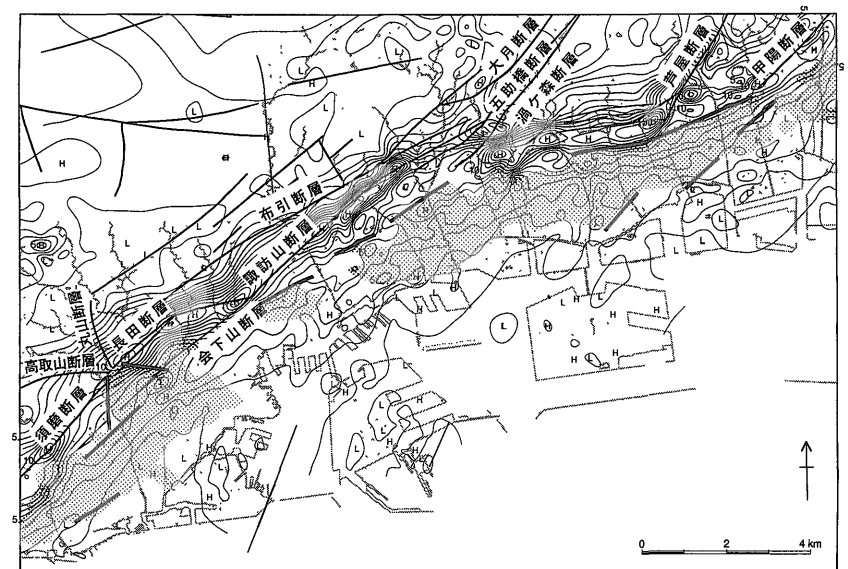
第1図 1995年兵庫県南部地震による神戸地域の低層建物の被害率分布図(遠藤ほか, 1996b)。被害率の分布を等値線(被害率5毎)で示す。背景図は地形の傾斜の陰影図。本図の詳細については、遠藤ほか(1996a)を参照されたい。

Fig. 1 Distribution map of the damage house rate by the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake in the Kobe district (Endo *et al.*, 1996b).



第2図 神戸地域のブーゲ異常図(遠藤ほか, 1996b)。等値線間隔は1 mGal (10^{-5}m/s^2)。仮定密度は 2.40g/cm^3 (10^3kg/m^3)である。

Fig. 2 Bouguer anomaly map of the Kobe area (Endo *et al.*, 1996b).



第3図 1995年兵庫県南部地震による低層建物の被害率50以上の範囲と重力の勾配(遠藤ほか, 1996b)。第1図において被害率50%以上の範囲を点地紋で、被害率が急変する直線的部分を太い直線で示す。また、第2図における重力の勾配を等値線で示す。断層名は、藤田・笠間(1982, 1983)、藤田・前田(1984)に基づく。

Fig. 3 Map showing the highly damaged areas where the damage houses rate is greater than 50% and horizontal gradient of the Bouguer anomalies in the Kobe district (Endo *et al.*, 1996b).

2. 各地域における地震災害分布と重力基盤構造

1995年兵庫県南部地震では、活断層調査の重要性が改めて認識されるとともに、神戸地域の被害分布から、深部地質構造が地震動の増幅に及ぼす影響(源栄・永野, 1995など)の重要性が広く認識されるようになった(遠藤ほか, 1996b)。しかし、地震動分布に関しては、同様の地震災害事例の具体的検討が少ないのが現状である。ここでは、3地域の事例についてそれぞれ検討する。

2.1 兵庫県南部地震による神戸地域の被害と重力基盤構造

1995年兵庫県南部地震は、明石海峡の地下10数kmを震源とするマグニチュード7.2(気象庁)の地震である。この地震災害では、神戸地域の甚大な被害の地域が帯状に分布することが注目された。その住家被害率の分布図を第1図に、重力図を第2図に示す。また、第1図における被害率の高い範囲と重力の勾配図を重ね合わせたものを第3図に示す。

これらの図から、兵庫県南部地震による被害の集中域は、全体として、重力勾配が大きな部分の前縁に分布することがわかる。つまり、第3図において、主要な被害域は、比較的重力勾配が大きな範囲の中に含まれるが、最も重力勾配が大きな部分ではなく、より低重力側の前縁部(脚部)に位置する。

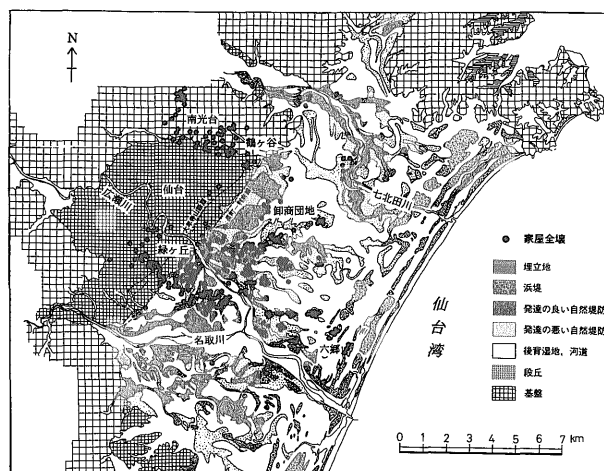
2.2 宮城県沖地震による仙台地域の被害及び重力基盤構造

1978年宮城県沖地震は、宮城県沖100km、深さ約40kmを震源とするマグニチュード7.4(気象庁)の地震で、宮城県を中心に岩手県南部、福島県北部までを含む広い範囲で震度5を記録した。この地震では、仙台市付近における造成地の被害が大きく注目されたが、低地にも多くの被害を生じた。第4図は、その被害分布と微地形についてまとめたものである。

一方、本地域の重力基盤構造について、多数の地点の重力測定を行なった(村田ほか, 1998)。その結果の重力図を第5図に示す。また、第6図に、第4図と第5図の一部を重ね合わせ、被害分布と重力の関係を示す。

重力図では、仙台地域の低地側の地域(第5図の右下側)においても、重力の変化に富み、基盤構造は複雑であることがわかる。その全体な形状は、低重力部が、L字型をなして分布する。

第6図では、低地域のうち、七北川付近と名取川との間の地域では、被害が集中している場所の多くが、上記のL字型の低重力部に向かって重力の勾配が大きい範囲、あるいはその肩部であることがわかる。当時の集落等の家屋分布を考慮すると、重力の勾配の大きな部分あるいはその肩部に被害が集中しているといえる。なお、



第4図 1978年宮城県沖地震による仙台地域の家屋全壊被害と微地形(中澤, 1997)。

東北大学理学部地質学古生物学教室(1979)の微地形区分図に仙台市開発局の被害調査結果による全壊家屋の位置を●で示した。

Fig. 4 Distribution of the houses damaged by the 1978 Miyagi-ken Oki Earthquake and microtopography in the Sendai district (Nakazawa, 1997).

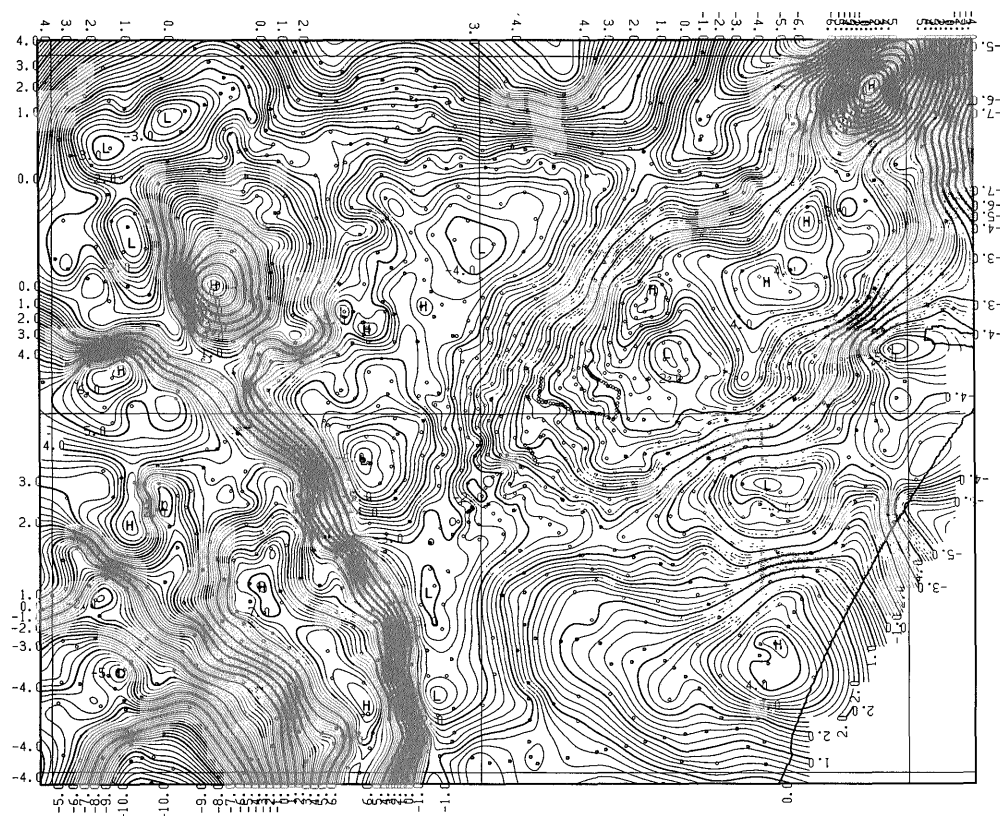
七北川以北などにおける重力の顕著な変化などは、本地域に露出する基盤岩の種類の違いなどと対応しており、被害分布との密接な関係は認められない。

2.3 三陸はるか沖地震による八戸地域の被害と重力基盤構造

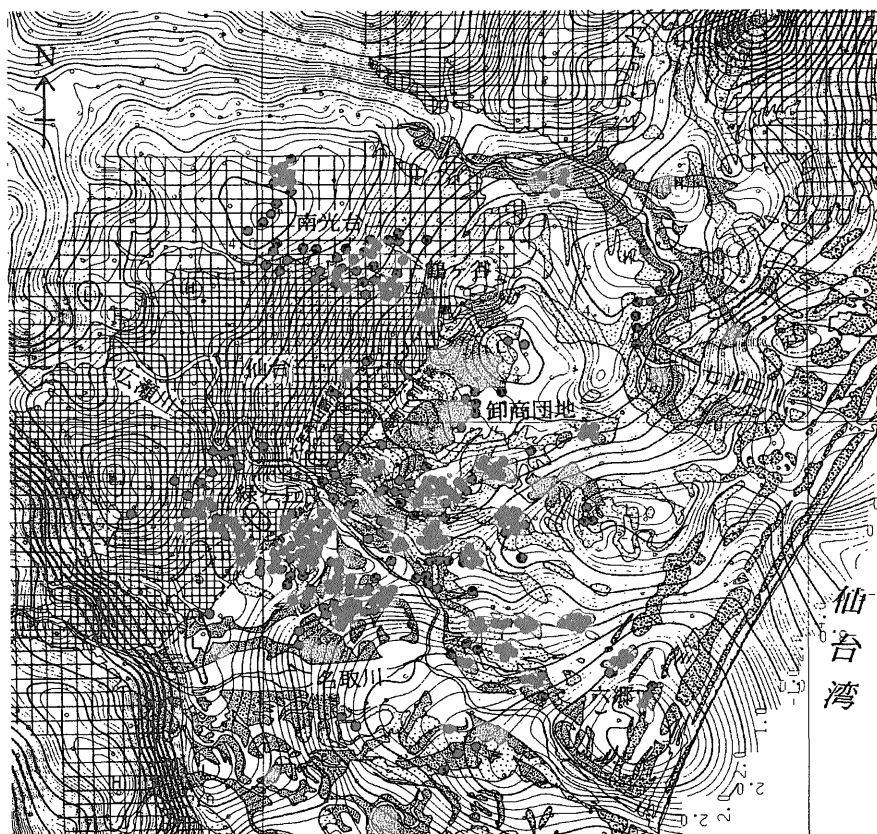
1994年三陸はるか沖地震は、八戸沖200kmを震源とするマグニチュード7.5(気象庁)の地震であり、主な被害は八戸市に集中した。12月28日にこの地震が発生した後、翌年の1月7日に八戸沖80km、マグニチュード6.9の最大余震があった。この余震によっても被害が生じているが、その主要個所は、本震の時とは異なっている。なお、以下では、特に断らない限り、「三陸はるか沖地震」はその本震のみを指すことにする。

第7図は、この本震及び余震による住家の被害分布図に重力の概略図を重ね合わせたものである。住家被害については、一部損壊以上を示した。本震による被害は本図の西側の地域であり、東側における被害(第7図右上の比較的集中している被害)の多くは最大余震による被害である。また、重力については、地質調査所(2000)による、本地域付近の重力データによって作図したものである。用いた重力地点数は20数点であり、概略的なものである。

本図では、西側に向かって低くなる重力分布のなかで、その勾配が大きな範囲に、本震による被害の主要域が分布していることがわかる。一方、余震による被害域については、本図の重力分布では、明瞭な関係は認められない。



第5図 仙台地域の残差重力図(村田ほか, 1998).
 仮定密度 2.0g/cm^3 (10^3kg/m^3) のブーゲ異常図から大局的な傾向面(2次曲面によって近似)を取り除いた残差重力図を示す. 等値線間隔は 0.2mGal (10^{-5}m/s^2). ○は重力の測点.
 Fig. 5 Bouguer anomaly map of the Sendai district (Murata *et al.*, 1998).



第6図 1978年宮城県南部地震による仙台地域の家屋被害と残差重力図.
 第4図と第5図の一部を重ねて示す.
 Fig. 6 Distribution of the damaged houses by the 1978 Miyagi-ken Oki Earthquake and gravity anomalies in the Sendai district.



第7図 1994年三陸はるか沖地震の本震及び最大余震による八戸地域の住家被害と重力の概要図。
住家被害については、一部損壊以上の被害地点を●で示す。本図の被害には本震とその後の最大余震による被害を含む。重力は地質調査所(2000)における、本図の範囲20数点の重力値に基づく。等値線間隔は1 mGal(10^{-5}m/s^2)。基図には、国土地理院発行の2.5万分の1地形図「八戸西部」「八戸東部」「苫米地」「新井田」の一部を使用。

Fig. 7 Distribution of the damaged houses by the 1994 Sanriku Harukaoki Earthquake and main aftershock, and gravity anomalies in the Hachinohe district.

3. 重力基盤構造と主要被害域との関係

前項の事例では、地震の主要な被害域が重力勾配の大きな範囲の中に認められ、基盤が傾斜するなどの構造と密接に関係している。このことは、兵庫県南部地震のような内陸地震なしは直下型地震だけではなく、遠方の地震の場合においても、基盤構造が被害分布を規制する大きな要因になることを示している。

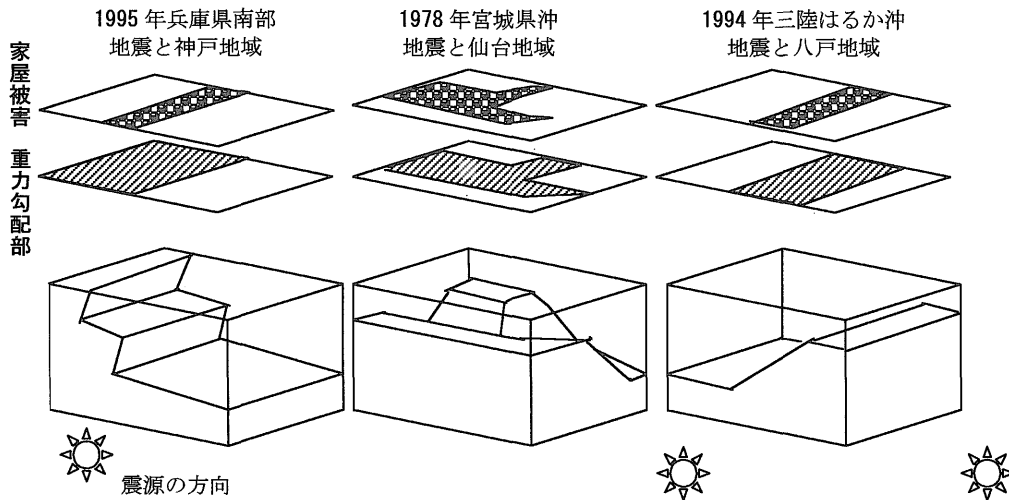
一方、上記の各事例における主要な被害域の位置は、重力勾配の大きな範囲のなかでも、兵庫県南部地震では前縁部であり、三陸はるか沖地震ではその全体であるなど、それぞれ異なる。このため、以下では、震源との距離、震源と重力基盤構造との方向性、及びそれらに対する主要な被害域の位置の関係について整理する。これらの点について、事例毎に模式化した概念図を第8図に示す。なお、重力の変化と基盤構造との関係について、以下では特に断らない限り、重力の変化がほぼ深度の変化に対応していると仮定して記述する。

震源と被害域との距離では、兵庫県南部地震は、内陸地震であり、震源の深さも比較的浅い。それに対して宮城県沖地震及び三陸はるか沖地震では、主要な被害域まで距離が100-200kmと離れている。

震源からの方向に対して基盤構造の伸びる方向(走向)は、兵庫県南部地震に対して神戸地域の基盤構造はおおむね平行である。三陸はるか沖地震に対する八戸地域の深部構造は、おおむね直交し、背後側に傾斜する関係である。宮城県沖地震に対する仙台地域の基盤構造には、震源方向に対し平行に伸びる部分と直交する部分がある。平行に伸びる部分については、互いに対をなし、溝状の構造をなす。また、震源方向に対して直交する構造には、震源方向に傾斜する部分が含まれる。

以上のことを踏まえて、地震毎に、震源、基盤構造の方向性と主要な被害域との関係を整理すると、次のようにまとめられる。

兵庫県南部地震は震源の比較的浅い内陸地震である。神戸地域では、その震源に対して平行する方向の基盤構造の最大勾配部からやや離れた前縁側の脚部に主要な被害域が生じた。



第8図 地震災害, 重力, 推定基盤構造及び震源の方向性の概念図。

3地域における各地震災害との関係について, それぞれ概念図を示す. 推定基盤構造は, 神戸地域については遠藤ほか(1996b)に基づく. その他の地域は, 重力の勾配の大きな部分が基盤の傾斜に対応していると仮定した.

Fig. 8 Schematic illustrations showing the distribution of the mainly damaged area, gravity anomalies, basement structure and direction of the source region.

三陸はるか沖地震は遠方の地震であり, 八戸地域では, その震源への方向に対しておおよそ直交する基盤構造の背後側に主要な被害域が広がった。

宮城県沖地震も遠方の地震であり, 仙台地域の低地では, その震源への方向に平行な溝状の基盤構造の部分に主要な被害域が認められる。また, 震源に向かって傾斜し, 直交する基盤構造の部分では, その肩部に被害が集中している傾向が認められる。

4. まとめと今後の課題

- 1) 本稿では, 1995年兵庫県南部地震, 1978年宮城県沖地震及び1994年三陸はるか沖地震による主要な被害域について, 重力基盤構造との関係を検討し, それぞれに密接な関係が認められることを指摘した。さらに, それらにおける被害の主要域の位置は, 重力の勾配が大きな範囲のなかで, それぞれ異なっており, それらと震源に対する深部構造の方向性などとの関係を整理した。
- 2) 以上の概略的な検討結果に基づき, 各地域の深層構造について今後次のような検討が必要だと考える。神戸地域の構造については, 平地部における階段状の構造(遠藤ほか, 1996a)が今回の被害分布に密接に関係している可能性があるため, さらに詳しい重力探査を行い, 基盤構造と被害分布との関係を検討する。仙台地域については, 低地における基盤構造の深度分布などの具体的データが極めて少なく, 弾性波探査等による調査が必要である。八戸地域では, 重力調査についても, 概略的なデータがあるだけであり, 上記の他地

域と同程度の詳しい調査が必要である。

- 3) 上記の基盤構造の調査においては, 特に, 神戸地域に認められている逆断層の基盤構造(遠藤ほか, 1996aなど)に対して, 他地域の構造様式等の詳細を明らかにし, それらと被害分布との関係を比較・検討することが重要である。またその場合, 被覆層を含めた深層の断層構造などの存在状況を把握する必要がある。
- 4) 本稿に指摘したように, 基盤構造のみでもそれに対する主要な被害域の位置は異なり, 同じ地域においても震源の位置や地震の周波数特性などの違いによって被害分布等が異なる可能性がある。従って, 地震災害に関しては, 当面被害集中等の主要な要因となる地下地質の要素の空間分布等を明らかにして明示すること, 及び過去の被害分布の履歴情報を提示することが重要だと考える。また, そのような地下地質の要因の調査が全国的に積極的になされていく必要があると考える。
- 5) 一方, 多くの要素が, 実際の地震の被害に結びつく場合には, 地震の震源位置や周波数特性, 特定の波動の存在あるいは継続時間などが複雑にからみ, 各要素の寄与程度や災害発生に至るメカニズムは異なると考える。したがって, 地下地質の調査, 地震災害履歴の検討, 地震動の伝播等のモデルによる検討, 及び普段生じている地震の観測による波形の解析などを実施し, それら相互のフィードバックによる地震災害軽減のための総合的研究を推進していく必要があると考える(遠藤, 1997)

謝辞 三陸はるか沖地震による被害分布図には, 八戸市

による被害状況資料を利用させていただいた。また、八戸地域の重力図は、地質調査所村田泰章氏に作成していただいた。これらの方々に記して感謝いたします。

文 献

- 遠藤秀典・村田泰章・卜部厚志 (1996a) 平成7年兵庫県南部地震による神戸市・芦屋市・西宮市における家屋の被害分布。地調月報, 47, 67-77.
- 遠藤秀典・渡辺史郎・牧野雅彦・村田泰章・渡辺和明・卜部厚志 (1996b) 1995年兵庫県南部地震による阪神地域の被害と伏在断層との関係。第四紀研究, 35, 165-178.
- 遠藤秀典 (1997) 1995年兵庫県南部地震による被害集中地帯と地下地質。日本地質学会第104年総会・討論会講演要旨, 28-29.
- 地質調査所 (2000) 日本重力 CD-ROM。地質調査所。
- 東北大学理学部地質学古生物学教室 (1979) 1978年宮城県沖地震に伴う地盤現象と災害について。東北大地質古生物研報, 80, 1-97.
- 中澤 努 (1997) 仙台地域の地形・地質と地震災害—1978年宮城県沖地震を例に一。地質ニュース, no. 512, 20-26.
- 藤田和夫・笠間太郎 (1982) 大阪西北部地域の地質。地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 112p.
- 藤田和夫・笠間太郎 (1983) 神戸地域の地質。地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 115p.
- 藤田和夫・前田保夫 (1984) 須磨地域の地質。地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 101p.
- 村田泰章・牧野雅彦・遠藤秀典 (1998) 仙台周辺地域の重力調査と地殻表層密度推定。日本測地学会第90回講演会要旨, 91-92.
- 源栄正人・永野正行 (1995) 神戸市の基盤不整形構造を考慮した地震動の増幅特性に関する解析的検討。土と基礎, 450, 15-20.

(受付: 2000年6月14日; 受理: 2000年7月26日)