

# 地震の予知と防災—今後の問題—

小 出 仁<sup>1)</sup>

## 1. 地震予知の現状と災害軽減

昭和40年度(1965年)に第1次地震予知研究計画がスタートして以来、四半世紀が過ぎ、現在では第6次地震予知計画が進行中である。この間に地震及び地震の予知の研究のための観測体制および施設が整備され、地震現象についての理解も比較にならないくらい深まった。例えば、地震観測網の充実の結果、地震の震源の位置も高精度で求められるようになり、大きな地震を発生させた破壊の伝播の様子まで知ることができる。しかし、地震予知の実用化というゴールは、まだ近づいてきているとはいえない。

現在の日本の地震予知のための観測システムは、プレート境界型巨大地震である東海地震を主な目標として組織されている。この25年間、東海地域で巨大地震は幸いにして発生せず、地震予知のための観測網が試される機会も来ていない。この間に、東海地域以外では、1968年(昭和43年)十勝沖地震(M7.9)、1973年(昭和48年)根室沖地震(M7.4)、1978年(昭和53年)宮城県沖地震(M7.4)のようなプレート境界型の大地震が発生している。これらのプレート境界型の大地震は、ほぼ予期されていた場所で発生している。例えば、根室沖地震は、地震空白域の存在から、近い内に大きな地震が発生するという予測がされていた。

プレート境界型の大地震については発生位置が明確になっており、そこに長い間大きな地震が起きていなければ、いわゆる第1種の地震空白域と判定できる。第1種の地震空白域とは、地震が発生すべき地域であるが、長い間地震が起きていない場所であり、したがって、比較的遠くない時期に地震が発生する可能性が高いと予測される。また、歴史地震等によって発生周期もだいたい明らかになっていることが多いので、プレート境界型の巨大地震の長期的予知はかなり正確にできる。それでも、観測装置が集中的に配備されている東海地域以外では、短期直前予知は困難なのが実情である。

M7級以下の地震でも、震源が内陸あるいは陸に近

く、かつ浅所で発生すれば、大きな被害を出す。その典型が、いわゆる「直下型地震」である。小粒の地震では、前兆現象の出現範囲が空間的にも時間的にも狭くなるので、前兆現象を検出するチャンスは小さくなり、予知もむしろ難しくなる。直下型地震は、地震としては小型でも、発生場所が人口密集地に近いと、被害は大きい場合もあるので、その予知法の開発は重点的な研究課題になっている。大都市は、様々な雑音が多く、観測条件が悪い上に、東京等は、若い厚い堆積層の上に位置しているため、基盤の地震源になる断層が隠されている。このような観測技術上の悪条件をどう克服するかも、重要な課題である。

このような状況下において、地震予知の実現のための研究を促進することはもちろん重要である。しかし、ある程度の地震予知が可能になってきたとしても、完全な地震予知一つまり、日時・場所・規模を明確に示し、かつ十分に信頼性がある地震予知の実現は相当先になることを覚悟しなければならない。地震は人間の都合と関係なく発生するので、防災について、十分に信頼できる地震予知法と観測網の完成を待っているわけにはいかない。地震予知の現状を十分におり込んだ上で、その段階にあわせて、最善の地震災害の軽減法を考えて行く必要がある。

1989年カルフォルニアで発生したロマブリータ地震については別に詳しい報告がされているが、1988年から1990年間に発生する確率は30%と予測されていた。しかし、同じサンフランシスコ断層で、今回の震源から南東約200kmのパークフィールド地区の方が発生確率が高いと予測されていたため、観測網もパークフィールド地区の方に集中していて、短期直前予知には成功しなかった。現在の地震予知の水準からは、長期的予知としては、よく当てていたと言わなければならないが、それでもなお、大きな被害があったことは事実である。このことは、防災のために、短期直前予知が重要であると共に、長期予知の信頼性も一層向上させる必要があることを示している。

1985年のメキシコ地震(M8.1)で、370kmも離れたメ

1) 地質調査所 環境地質部

キシコ市が大きな被害を受けているが、ロマブリータ地震 (M7.1) でも約 90km 離れたサンフランシスコ市やオークランド市の湾岸地区が大きな被害を受けた。サンフランシスコ湾岸の軟弱な埋め立て地盤で液状化が発生したが、サンドコンパクションによって地盤改良した埋立て地盤では、液状化を抑制できたとの報告もある (稲富, 1990)。

これらの事実は、地震災害の軽減のため、地盤問題、特に軟弱地盤の研究が重要であることを、改めて示している。また、地盤の改良が災害の軽減に有効なことも示している。斜面災害、すなわち地すべりや崖崩れや地割れも、大きな地震のたびに発生している。1984年の長野県西部地震 (M6.8) における御岳山の崩壊や1987年の千葉県東方沖地震の時の液状化や崖崩れが記憶に新しい。

短期直前予測は、火災のような二次災害の防止に役立つし、何にもまして、人間を避難させることができるので、人的災害の軽減に大きな効果がある。東京のような巨大都市を巨大地震が襲った時にもっとも恐いのは、震動による直接の災害より、火災やパニック等の二次災害である。このため、短期直前予測の重要性が認識され、その実現を目指した研究開発が推進されている。しかし、大火災の発生に至らない程度の震災の場合には、震動による直接の災害が主になる。したがって、地盤災害の様相が顕著に表れる。地震による地盤災害については、短期直前予測では、早めに避難するしか対策がない。正確な長期予測ができれば、地盤改良等の対策を立てる時間的余裕が生じる。すなわち、正確な長期予測に基づいて、地震災害軽減の方策を探ることも重要である。

## 2. 予測の方法について

地震予測も、未来予測の一種である。未来予測の方法として、もっとも多く用いられるのは、外挿法である。外挿法は、過去から現在に至る傾向を把握して、その傾向を将来に延して、未来予測をする。この方法は、ほぼ定速度で連続的に進行し、急激な変化のないような現象についての、近い未来の予測法としては、精度が高い。周期性のある現象も、周期性を考慮して、外挿法を応用できる。

地震のような突発性事象も、周期性があれば、外挿法による予測が可能である。大きな地震は、活断層の急激なずれの衝撃によって発生する。活断層は地殻中の弱点であるので、プレート運動等の地殻の活動によって地殻中の応力が高まると活断層沿いに再破壊して、地震になる。南海道沖では、M8級のプレート境界型の巨大地震が約100~200年毎に発生することが歴史記録から明らか

になっている。

地殻変動は、地震のような急激な動きを折り込みながら、大局的には、ごく緩慢にはぼ定速度で進行しているように見ることもできる。活断層のずれや地盤隆起等の平均速度を地形・地質等の様々な証拠から推測し、それを外挿すると、かなり良い精度で未来予測ができる。これらの変動が、実際には、地震時の変動の集積であり、1回の地震の変動の平均量が推定できれば、地震の再来周期を推定できる。ただし、このようにしてもとめた地震の再来周期はごく大まかな推定でしかない。歴史的記録は時代・地域が限られているが、最近では、トレンチ等により、活断層自体や地震による液状化の跡を発掘して、かなり古い地震まで詳細な研究ができるようになってきた。古地震の発掘調査は「地震考古学」とも呼ばれるが、「歴史地震学」と補完しあって、地震の周期性を正確に調べることができるようになりつつある。

地震の周期再来性を利用した、外挿法による予測は、地震予測の基盤ともいえる重要な方法であるが、あくまで長期的予測法である。地震のような突発性の事象の予測は、その事象がきわめて規則正しい再来周期を持っていない限り、外挿法による短期予測は困難である。

地震の短期的予測法として、通常用いられる方法は、ほとんど類推法に属している。類推法とは、類似現象の発生パターンから未来予測をする方法である。地震予測のためには、大きな地震の前の様々な関連事象パターンを調べ、それから地震の前兆となる特異な現象を抽出する必要がある。

類推法による地震予測法の典型は、茂木清夫の提唱したドーナツパターンである (たとえば、茂木, 1981)。大きな地震の発生する前に、来たるべき大地震の震源域で、地震活動が静穏化する一方で、その周囲の地震活動が活発になる。典型的には、その後、震源域付近で直前の(狭義の)前震が発生し、空白域を埋めるように大きな地震が発生する。このような地震発生の時空分布の形がドーナツ状になることから、ドーナツパターンと命名された。ドーナツパターンによる予測は、中期的予測法であるが、地震発生の時空分布に基づいているので、情報量が多く、信頼のおける予測法になっている。

現在、地震の前兆現象を促えるために、地震活動の他にも、地殻変動・地震波速度・電磁気・地下水の水位・水質や地下ガス等の諸観測が行われている。1978年の伊豆大島近海地震は、様々な観測が実施されている地域で発生したので、地下水位や水温・ラドン濃度・体積ひずみ等に前兆的な異常が観測されていた(脇田, 1987)。しかし、これらの諸観測から見出される異常の出現状況は、地震によってまちまちであり、明確な法則はまだ見だし

れていない。おそらく、単独現象の観測から決定論的な地震予知をすることは困難であり、様々な現象の時空的な組み合わせのパターンからの類推でないと確実な地震予知はできないであろう。このためには、多くの地震での多数の多様な観測データ例が必要である。

天然の地震は、発生するまで待たないと観測できない。このため、室内実験等により、きわめて小さいが、人工的に地震（実際には、岩石試料中に発生する破壊振動でアコースティックエミッション、略してAEと呼ばれる）を発生させて、諸現象を研究する「実験地震学」が発達しつつある。実験では応力や温度や間隙水圧等をコントロールでき、諸現象の観測も精密に実施できる。このため、地震発生や前兆現象の発生の理論的または経験的モデルの検討にも、実験地震学は有益である。

理論的あるいは経験的モデルによる予知法についても様々な試みがある。ダイラタンシー・モデルは、初期の実験地震学的研究から生まれた理論である。ダイラタンシー・モデルは、地震予知を大きく発展させたが、地震予知理論としてはまだ不十分であることが指摘されている。そのため、アスペリティ・モデル等の各種のモデルが提唱され、検討されている段階である。

### 3. 地質調査所における地震研究課題

地質調査所の現在の地震予知研究は、昭和63年に測地学審議会が建議した「第6次地震予知計画の推進について」に沿って、国の研究計画の一環として実施している。この建議では、地質調査所が分担する研究課題として、地殻活構造の調査や地球化学・地下水観測があり、地震予知の基礎研究として岩石破壊実験・地殻応力の測定・地殻構造・物性の調査・研究および内陸地震に関する基礎的研究を進めることが求められている。さらに、地下水・地下ガス観測のテレメータシステムの改良と活構造データベースの充実を図ることとされている。

地質調査所の地震関係の研究は、地震の場の研究・長期予知・短期予知・メカニズムの研究および地震災害の研究に分けられる。地震の場の研究では、活断層等の活構造を調べ、そのデータベースの拡大を図っている。特に、断層構造の解明は、地震の規模や発生機構を知るために重要である。また、地殻の構造・物性の解明や観測強化地域の地質図作成も基本的な研究資料として重要である。内陸地震については、その発生の場の解明が必要で、堆積層に隠れた震源断層を明らかにするための研究開発も今後の重要な課題になる。

長期予知のための研究としては、活断層や遺跡の発掘調査によって、地震発生の履歴を詳細に解明している。

このような、「地震考古学」的な研究は、今後大きな発展をし、過去の地震災害の実態を解明することにより、地震災害軽減に貢献することが期待される。短期予知のためには、東海地域を中心に、地下水・地下ガス等の連続観測を実施している。このような自然相手の観測では、長期にわたる地道なデータの蓄積が重要である。地震およびその前兆のメカニズムの解明のためには、断層のすべり実験等の室内実験を実施し、応力と地震発生様式の関係の解明を試みている。このような「実験地震学」的な研究は、地震のメカニズムの解明と共に、現場における観測・測定と連携して、地震予知の手がかりを得ることができるよう、前兆現象の発生の仕組みを解明することが期待される。

地震災害の軽減化のための研究としては、地震災害と平野地盤地質および地下構造との関係を調べ、また液状化についての研究を進めている。また、地震時の斜面崩壊や岩盤中の不連続面の影響の解析が、地震災害の軽減のため重要である。「地震考古学」的な手法を発展させ地下の堆積層や地盤の構造の震動による変動を詳細に解明することが、地震による地盤災害のメカニズムを明らかにするために、役立つであろう。

### 4. おわりに

前節にも述べたように、地質調査所は、国の地震予知計画の一部を分担し、研究開発を進めているので、地震予知計画に参加している他の機関と協力しなければ、十分な成果を得ることはできない。例えば、地質調査所が東海地域等で実施している地下水のテレメーター観測のデータは、即時、気象庁へ送られ、他の観測項目と共に常時監視されている。気象庁・国土地理院・防災科学技術研究所（国立防災科学技術センターを改称）・海上保安庁・通信総合研究所や各大学及び地震研究所等の大学付置研究所とも、地震予知連絡会等で常に情報交換し、研究協力をしている。最近、群発地震とマグマの活動との関連が明らかになるにつれ、火山噴火予知の研究との連携も重要視されている。他方、地震工学と地震予知の協力・交流が、地震災害軽減のために必須である。地震防災は多くの機関の協力によって達成されるものであり、一層広範な研究協力・情報交換が進むことを望んでいる。

〔追記〕本号校正段階の7月17日、フィリピン北部で大地震が発生した。震源はフィリピンを縦断する大活断層「フィリピン断層」で、地表地震断層が形成された。近代的ホテルの倒壊や大規模な液状化の発生も報道されており、緊急の国際援助・調査が進められている。

参 考 文 献

稲富隆昌 (1990) : 液状化. 国土庁防災局監修 : 1989年サンフランシスコ湾岸地震 (ロマブリータ地震) の記録, ぎょうせい刊, p. 39-40.

茂木清夫 (1981) : 地震—その本性をさぐる 東京大学出版会, 164 p.

銭 綱 (1988) : 唐山大地震—今世紀最大の震災 朝日新聞社, 375 p.

宇佐美龍夫 (1987) : 新編日本被害地震総覧 東京大学出版会, 435 p.

脇田 宏 (1987) : 地下水などの異常—地球化学的観測. 地震の事典, 朝倉書店, p. 433-439.

KOIDE Hitoshi (1990) : Earthquake prediction and hazard reduction. —Study in Geological Survey of Japan.

<受付 : 1990年 5月31日>

地質調査所研究講演会

『地震地質学は社会にどのように貢献できるか』

地震や断層をはじめとする地殻変動の科学, 地震災害の評価・予測の科学としての地震地質学の課題と展望を探る.

主催機関 : 工業技術院地質調査所・財団法人産業技術振興協会  
 協 賛 : 応用地質学会・地質学会・地震学会・東京地学協会  
 開催日時 : 1990年 9月10日 (月) 13:00—17:00  
 開催場所 : 三会堂ビル石垣記念ホール 東京都港区赤坂1-9-13 TEL 03-582-7451  
 営団地下鉄銀座線 虎ノ門駅より徒歩5分 アメリカ大使館前

参加費 : 無料 (ただし一般参加者はテキスト代実費)

講演会プログラム		(司会 企画室長 津 宏治)
13:00—13:20	開会の挨拶	(財)日本産業技術振興協会 専務理事 清水嘉重郎 地質調査所 所 長 石原 舜三
13:20—14:00	特別講演	
	「地震地質学から生まれた地震評価法—固有地震モデルについて」	
	(財)原子力工学試験センター 特別顧問	垣見 俊弘
14:00—14:30	「地質調査所における地震地質学」	環境地質部地震地質課長 衣笠 善博
14:30—15:00	「古地震; なぜ古地震を研究するのか」	近畿・中部地域地質センター主研 寒川 旭
15:00—15:10	休憩	
15:10—15:40	「首都圏の基盤構造—直下型地震や地震災害と関連して—」	環境地質部地震物性課長 長谷川 功
15:40—16:20	特別講演	
	「地震地質学に期待するもの, 社会から, 業界から」	
	(社)全国地質調査業協会連合会 相談役	深田 淳夫
16:20—16:50	「地震地質学の今後の展望」	環境地質部地震地質課主研 山崎 晴雄
16:50—17:00	閉会の挨拶	環境地質部長 小出 仁
	(連絡先: 地質調査所企画室 高橋 TEL 0298-54-3572)	