

地震防災促進のための 地震情報の生成・伝達に関する一考察

ON GENERATION AND CONVEY OF EARTHQUAKE INFORMATION
FOR PROMOTING EARTHQUAKE DISASTER PREVENTION

堀 宗朗¹・市村 強²・寺田 賢二郎³

¹Ph.D. (応用力学) 東京大学教授 地震研究所 (E-mail: hori@eri.u-tokyo.ac.jp)

²Ph.D. (社会基盤工学) 東北大学大学院 工学系研究科 (E-mail: t-ichim@civil.t.tohoku.ac.jp)

³Ph.D. (機械工学) 東北大学大学院 工学系研究科 (E-mail: tei@civil.t.tohoku.ac.jp)

地震防災を促進するためには個人の防災意識の向上が重要であるが、防災意識は十分なレベルに達していない。これは地震のリスクが主観的に認識されていることが一因である。一方、天気予報は高い信頼度を得ており、気象現象の理解の度合いやリスクを客観的に認識する度合いが高い。本論文は気象情報の生成・伝達技術の高度化やそれに伴う気象情報の信頼度の向上を文献調査したものである。調査結果を基に、地震情報の生成・伝達の現状を整理し、気象情報の生成・伝達と比較することによって、より効果的な地震情報の生成・伝達技術を考察した。この結果、生成される情報の質は勿論、誤りも含め情報生成の過程も示し、複雑な現象とその予測技術の限界を正しく理解させることが必要であるとの結論を導いた。

キーワード：地震防災，地震情報，気象情報，現象の予測，情報の表示

1. はじめに

都市や地域の地震防災を図る上で、行政機関やライフライン企業が果たす役割は大きいものの、住民の貢献も決して無視できるものではない。住民の貢献は自分自身や家族を守るだけでなく、町全体の地震防災にも影響を与えることが指摘¹⁾されている。貢献には、家屋の耐震補強・補修のようにコストのかかるものから、避難用品の整備や町ぐるみの防災組織の結成、ボランティア活動など比較的簡単なものまで多岐多様であるが、地震防災には相応の効果があることは事実である。このような貢献を実践するためには、住民一人一人が地震や地震災害を正しく認識しなければならない。すなわち、地震防災意識の向上²⁾が必要である。

現実には個人の地震防災意識が十分なレベルには達していないことも事実である。例えば、古い木造家屋に対して耐震補強は勿論、耐震診断も十分に行われていない。愛知県下では耐震診断に半額補助を出している十の市町村においてすら、診断を受けていない家屋が99.8%に達しているとの報告³⁾もある。防災意識が低い現状にはさまざまな理由がある。一つの切り口として、意思決定論の観点⁴⁾からこの現状を分析すると、「地震防災をしない」という意思決定は、地震で被害を受けるというリスクが個人の経験や限られた知識に基づいて主観的に認識されていることに起因すると考えられる。主観的認識の下では、

合理的な意思決定はされず、何もしない、または防災を意識しないという行動になるのである。

地震は地殻の破壊という物理現象であり、地震による建物被害も同様に物理現象である。したがって、未だ解明されていない点や未知の点があるということも含め、地震や地震被害には客観的な認識が可能である。したがって、住民が地震のリスクを客観的に認識することで防災意識が向上し、合理的な行動をとるようになることが期待できる。勿論、個人の認識を変えることは決して容易ではない。しかし、地震防災促進のためには防災意識の向上の効果は大きく、地震のリスクが客観的に認識できるような仕組みを考えることは重要である。

自然科学の発展により、自然の脅威に対する人間の主観的認識が客観的認識に変わった例は少なくない。近年の例として気象災害に対する認識が挙げられよう。台風を含め、この数十年の間でも天気予報の精度は向上している。例えば、気象庁⁵⁾によれば東京地方の降水の有無に関する適中率は、1950年には70%程度であったものが、2000年には85%まで高くなっている。次章で詳しく説明するが、予報の高精度化とともに、天気予報に関する国民の信頼度⁶⁾も向上している。信頼度の向上は、例えば、個人個人が台風により合理的に対処することにつながる。すなわち、天気予報のような気象に関する質の良い情報が生成され伝達されたことが、気象のリスクに関する認識をより客観的なものにし、その結果、例えば台風のり

スクへの対応をより合理的なものにする一因となったことは十分考えられるのである。

上記を背景として、本論文は、地震防災を促進する一手法として地震情報の発信を取り上げ、生成・伝達の方法を考察する。情報生成・伝達の目標は地震リスクの客観的認識を促すことである。第二章において、地震と同様の自然現象である気象に関し、気象情報が客観的認識をもたらした理由を文献調査によって解析する。調査結果をもとに、第三章において地震情報の現状を整理・評価し、生成・伝達のあるべき姿を模索する。

2. 気象情報

気象情報を生成と伝達の二点で分析する。なお、情報の生成は気象予測であるが、これは観測と統計解析・数値計算からなっている。気象衛星の利用や高密度の観測網を地上や高高度に展開するなど、観測に関する技術は進歩を遂げているが、本章では地震情報の生成に参考となる数値計算（数値予報）に焦点を当てて分析を行う。地殻の変動やその内部を対象とする地震観測と比較すると、大気の状態を対象とする気象観測は容易であり、格段に良質のデータを採ることができる。それ故、データ解析理論や手法を別にすれば、気象の観測技術は地震観測には直接の参考にはならない。一方、解析は気象現象と地震現象のシミュレーションであり共通する点が多い。

2.1. 数値予報技術

気象・気候問題⁷⁾には古くから大規模数値シミュレーションが適用されてきた。数値解析手法の発展に我が国の科学者が中心的な役割を果たしてきたこともあり、気象庁の数値予報技術は国際的にも高く評価されている。

気象庁⁸⁾で数値予測が開始されたのは1959年である。数値予報に使われる計算機が逐次更新され高性能化するとともに、解析モデルや解析手法も発展を遂げている。1973年以降の計算機の特徴をTable 1に整理する(表のデータは参考文献^{8, 9)}による)。単純な比較は難しいものの、1987年以降でも演算速度は千倍、記憶容量は1万倍に増加している。予報に用いられるモデルも高度化している。1987年では北半球のみが対象であったが現在は全球モデル(成層圏全体)が使われており、解析の時空間分解能も向上している。現在の数値予報に用いられる6個のモデルをTable 2に示す。週間・短期予報、台風、防災気象等の目的に応じたモデルであり、解析手法も、時空間で観測データの再現・予測を行う4次元変分法、大気変動を高精度に予測するセミラグランジュ法等、高度なものである。

前章で紹介した数値予報の精度をTable 3に整理する(表のデータは参考文献⁹⁾による)。東京での1978年と2002年での降雨の有無の不適合率と最低気温の予測誤差を示すが、年平均では変動があるため5年平均を用いている。降雨に関しては5%、最低気温では約0.7の精度向上が見られる。なお、Table 1に示した計算機の性能が桁違いに向上したことと比べると、Table 3に示す予測精度の改善の度合いは小さい。この違いが自然現象のシミュレーションの難しさを端的に示していると思われる。

2.2. 気象情報の信頼度

気象庁から発せられる種々の天気予報に関する政府主導の信頼度調査は2001年より開始されているが、それ以前の調査は見受けられない。一方、朝日新聞⁶⁾では1978年より毎年、定期国民意識調査を実施している。調査項目の一つに天気予報、警察、銀行等の信頼度がある。間接的ではあるが、この調査結果を用いて天気予報の信頼

Table 1. 気象庁の数値予報に用いられるコンピュータ

稼働開始	1973	1982	1987	1993	2001
機種	HITAC 8800/8700	HITAC M-200H	HITAC S-810/20K	Hitachi S3800/480	Hitachi SR8000/Ei
演算速度	-	-	630Mflops	32Gflops	768Gflops
主記憶容量	32KB	16MB	64MB	14GB	640GB

Table 2. 数値予報モデルの目的と解析手法の特徴

モデル	利用目的	解析手法の特徴
全球モデル	週間予報・短期予報	4次元変分法
週間アンサンブル予報モデル	週間予報の支援	セミラグランジュ
1ヶ月アンサンブル予報モデル	1ヶ月予報の支援	摂動
海洋混合層結合台風モデル	台風進路・強度予報	摂動
領域モデル	短期予報・航空予報等	4次元変分法
メソ数値予報モデル	防災気象情報	4次元変分法

Table 3. 東京地方の予報精度

	1978	2002
過去5年平均の降水の有無の不適合率	20%	15%
過去5年平均の最低気温の予報誤差	2.1	1.4

Table 4. 天気予報の信頼度

	1978	2002
信用(「信用している」+「ある程度信用している」の和)	84%	92%
不信(「信用していない」+「あまり信用していない」の和)	14%	7%

度の推移を調査する。Table 3に対応して1978年と2002年の時点での信頼度をTable 4に示す。表では、無回答以外の、「信用している」、「ある程度信用している」、「信用していない」、「あまり信用していない」の4つの回答に対し、最初の二つの和を信用、最後の二つの和を不信とした。信用の割合が増し、不信の割合が低下したこと

がわかる。

信頼度をより詳細に検討するため、職業別の信頼度の変化¹⁰⁾を比較した。調査様式が年度によって変更されているため、気象情報に相対的に鈍感と思われる自営業と敏感と思われる農林漁業者に絞った。結果をFig. 1に示す。自営業は「信用している」と「ある程度信用している」とともに増加したが、農林水産業はその和はさほど増加しておらず、2002年の自営業と同じ程度である。農林水産業での顕著な違いは「信用している」が21.7%から34%に増加したことである。これは農林水産業の従事者が天気予報を強く信頼していることを示しており、気象を自然現象として客観的に認識する傾向が強まったことが伺える。

2.3. 気象情報の伝達技術

数値予報技術の進歩とともに伝達技術の進歩が信頼度の向上に与えた影響も見逃せないと思われる。従来、等圧線を用いた気圧配置図が天気予報に用いられていたが、1978年から観測が始まった気象衛星の観測データを供用することもあり、雲の分布が表示されるようになった。さらに数値予報のシミュレーションを可視化する技術が進み、気圧配置図に比べれば格段に天気の様子を直感的

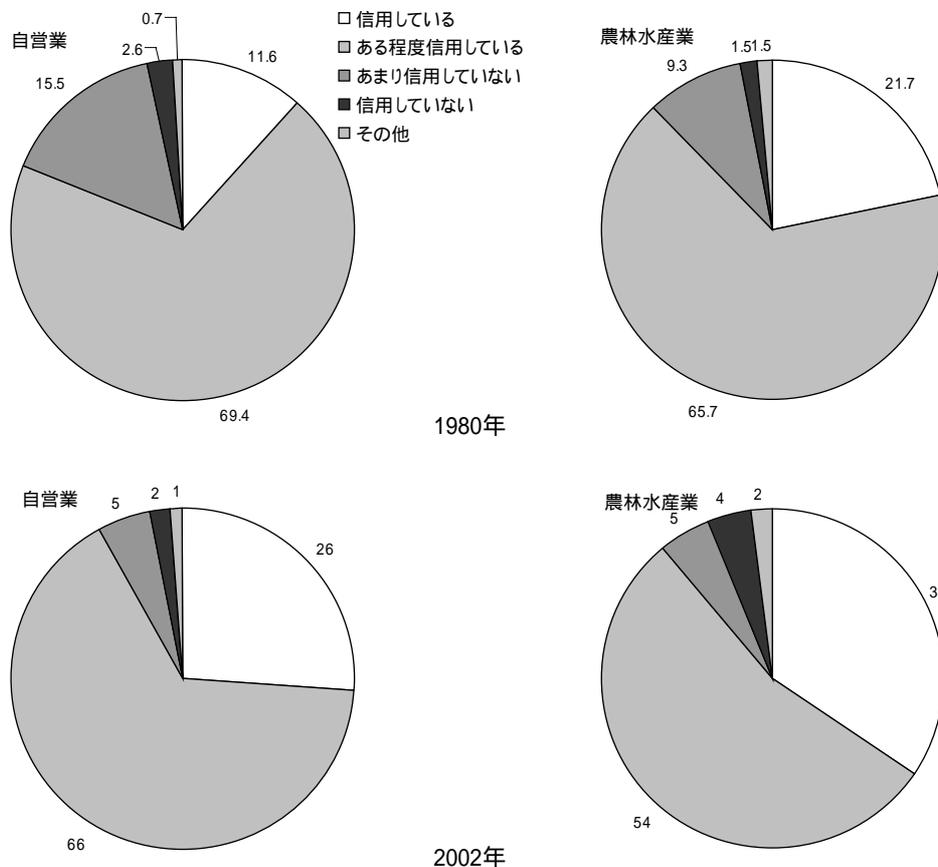


Fig. 1 職業別の天気予報の信頼度

に理解することが容易となっている。

伝達技術に関しては、天気予報の空間分解能の改善も重要である。これは列島全体の広範囲な気象状態とともに、地域の局所的な状態が予報されるようになったことを指す。空間分解能の改善の結果、大規模な大気の変動と身近な天気の移り変わりに関連があることが自然に理解されるようになったと思われる。大規模な大気の変動が判らなければ局所的な天気予報が難しいという意味で、気象現象のこのような理解は重要である。同様な理解は地震現象にも重要である。しかし、地震現象の理解の度合いは低いようである。地震の規模の尺度であるマグニチュードと場所毎の揺れの尺度である震度すら混同されてしまうことも多い。

2.4. 気象情報の生成・伝達技術の進歩の効果

限られた統計データしか利用できないものの、Table 4 やFig. 1に示す世論調査の結果は、気象情報の生成・伝達技術の進歩が信頼度の向上に貢献していることを示していると思われる。特にTable 1から3に示す数値予報の進歩は、地震情報の生成にも参考になる。自然現象を相手にするため当然のことではあるが、信頼度の向上には、モデルや解析手法を高度なものにし、計算機器の高性能化を図ることが不可欠である。

同様に伝達技術の進歩も重要である。各放送局が天気予報の可視化に相応の工夫を凝らし、また、努力を続けていることは信頼度の向上をもたらした一因である。特に大型の台風が発生した時に、観測や数値予報の結果がリアルタイムで可視化されて放送されるが、客観的に台風の脅威を認識することに大きく役立っていると思われる。

高度な技術を用いて生成・伝達される気象情報をもたらす効果として、国民の気象現象に関する基礎知識が充実したことも否定できないと思われる。Fig. 1に示すように自営業よりも農林水産業の従業者が天気予報の信頼の度合いが高いことは彼らの気象現象の理解の高さを示唆するものである。主に農業従事者を対象に局所的な気象情報を提供することが産業として成立していることはこの点を裏付けている。前述のように、気象現象の理解の度合いは、地震現象の理解の度合いとは差があるようである。発生頻度の差や生活に与える影響の違いもあり、理解の程度に単純な比較はできない。しかし、予知できるか否かの二極化された議論に終始しがちな地震現象と比べると、気象現象の予測の難しさや技術の限界も相応に理解されているようである(天気予報の信頼度は100%とはなっていない)。それには気象情報の伝達が主要な役割を果たしたように思われる。

3. 地震情報

気象情報の生成・伝達技術の進歩が気象現象に対する認識の向上に果たした役割は大きい。これを参考にして、個人の防災意識の向上のために、地震情報の生成・伝達の現状を踏まえつつ、そのあるべき姿を考察する。なお、単純な比較はできないが、台風のような気象現象よりは地震現象に伴う災害は規模が大きくなる可能性があり、さらに時間的余裕がないため対処も容易ではない。このため、地震情報は地震そのものの情報の他に、建物・構造物の損傷や倒壊の可能性等、被害に関する情報も加えなければならない。地震情報は地震学、被害情報は地震工学として情報の生成元が二分されるため、この二つを分けて考察する。

3.1. 地震学的地震情報

現在、大きな地震が発生すると、数分の内に震源情報が発信¹¹⁾され、その後、各地の震度分布が伝達される。この情報は観測された地震波から生成される。なお、過去のデータを基に震度から被害の度合いを推定することも可能である。発生後極めて短時間で震度分布を生成し伝達することは評価されているが、被害推定の精度は改善の余地があることが指摘されている。

地震そのものとは別に地震を引き起こす地殻変動は国土地理院¹²⁾によって常時観測され、インターネットを通じて配信されている。気象衛星等による大気変動の観測と同様、地殻変動の観測は人工衛星を利用している。しかし、観測が開始されたのは1990年代後半であるためデータ解析は研究レベルであり、地殻変動観測の利用は限られている。

地震波の観測網の整備と同様、地震波の数値解析技術も大きく進歩している。幾つかの付帯条件がつくが、大きな地震に対して多数の観測地点での地震波データを再現することに成功¹³⁾している。しかし、地震を起こす地殻内の断層の破壊過程が完全に解明されていないため、地震波を予測することは難しい。当然、数値解析による時期や場所の予測もまだまだ将来の課題である。

3.2. 地震工学的地震情報

時期・場所・規模を予測することが課題となる地震学と異なり、地震工学では地震に強い建物・構造物を作ることが目標となる。これには地震時の建物・構造物の挙動を推定することが必要であるが、構造物の設計技術の進歩により、数値シミュレーションによって挙動を推定する技術¹⁴⁾は実用化されている。倒壊のような極限状況を除き、推定精度も十分高い。

建物・構造物のシミュレーションには建物・構造物の構造・材料に関する詳細なデータが必要とされる。また、

地盤のデータも欠かせない。公共施設やライフライン構造物のように設計図や地盤情報としてデータが保管されているものもあるが、通常の家屋に対しては、データの整備、特に地盤データの整備は十分ではない。したがって、現時点では高度なシミュレーション技術を活用することはできない。

シミュレーションの代替も提案されている。例えば、木造家屋の場合、簡易耐震診断¹⁵⁾の手法が確立されている。また、インターネットには、必要な情報を入力すると、診断結果が出力されるサービスを行うサイトが複数存在¹⁶⁾する。しかし、前述のように、地震防災の意識の低さに対応して、このような便利なサービスも十分には活用されていないようである。

3.3. 生成すべき情報と伝達技術

前章で紹介した気象情報と地震情報の生成・伝達技術の比較をTable 5に示す。気象情報と地震情報の生成技術の根幹は観測と数値計算であり、大きな違いはない。しかし、天気予報では生成される気象情報の精度が高いことと比べると、「いつ、どこで、どのような地震が起こるか」もしくは「建物・構造物がどのような被害を受けるか(受けないか)」という地震情報は予測の域には達していないことは厳然たる事実である。この結果、情報の伝達技術には大きな差があるようである。実際に発生した地震に関する情報はスナップショット的な図示で伝達されることになり、時間変化を表現する高度な手法が適用されている気象情報の伝達技術と明瞭な対比を示している。

上記のTable 5に関する考察から分かるように、気象情報と地震情報の差は生成技術である。気象現象の客観的認識をなした原因は、生成技術が高度化され、予測精度が向上したことである。したがって、地震情報に関しても、生成技術の高度化が重要な課題である。

しかし、伝達技術を軽視することは決して得策ではない。繰り返しになるが、大局的な気象情報と局所的な天気の関係が正しく理解されることで、気象現象のリスク

に対して客観的認識の度合いが高くなっている。それに比べ、地震現象に関しては、地面の揺れや地震被害の関係すら理解が十分でない。不十分な理解は、地震のリスクに対する認識が主観的になっている現状の一因であろう。自然現象の高精度の予測はリスクの客観的認識を育むものである。しかし、これは、予測精度が低いから客観的認識の度合いが低いということの意味しない。むしろ、予測精度が低い時点でも気圧配置図を示し、気象現象の正しい理解を促した努力は評価されるべきかもしれない。気圧配置図を示すことで予報に関する情報生成の過程が伝わったからである。

伝達技術が高いため、気象情報の誤りも広く伝わってしまう。しかし、誤った情報の伝達は、予測精度に限界があるから天気予報は駄目だという短絡的な意見には繋がらず、世論調査の信頼度を見る限り、限界が限界として容認されているようである。この点は地震情報の伝達技術にも参考になると思われる。前述のように、天気予報では気象情報が生成される過程も伝達されたため、誤りに納得がいくのである。したがって、地震情報も結果のみではなく、情報生成の過程も示す必要があると考えられる。

なお、情報を伝達する際には分かりやすさが重要なポイントとなる。気象現象と比較して、地震現象は大規模な建物・構造物の被害を伴うためより複雑であるかもしれない。しかし、それ故に、より正しく地震現象が理解されるよう効果的な伝達技術を培うべきであろう。例えば、気象情報は現象の時間的推移が明確に分かるよう工夫がされている。勿論、気象現象に比べ地震現象の推移が小さいことは確かであるが、このような工夫は現在の地震情報の伝達では見逃されている。

4. おわりに

本論文で展開された地震情報の生成・伝達の考察より、以下の二つの結論を導いた。

- (1) 観測やシミュレーション等、生成技術の高度化を図り、地震情報の質の向上を図るべきである。

Table 5. 気象情報と地震情報の生成・伝達技術の比較

		生成技術	伝達技術
気象情報		気象衛星 アメダス 数値予測	衛星写真(時間変化) 図示(時間変化) アニメーション
地震情報	地震学的	地殻変動観測 地震波観測 波動シミュレーション	震度分布の図示 波形データの表示 アニメーション可
	地震工学的	動的解析手法 耐震診断 ハザードマップ	アニメーション可 数値による表示 危険の度合いの図示

- (2) 複雑な地震現象が正しく理解できる伝達技術を培うべきであり、その際、誤りを含む可能性があっても情報の生成の過程も示すことで予測技術の限界も合わせて示すべきである。

第一の結論は月並みではあるが、自然現象やそれに伴う災害を対象とする以上、決して軽視してはならない結論である。約半世紀という時間がかかっているが、予測技術の高度化を追求して成功するに至った気象現象の例は参考になると思われる。

地震情報の生成・伝達の目的は、地震災害をより客観的に認識させて、個人個人に合理的な地震防災行動をとらせることにある。これには地震現象の明示とともに、地震予測技術の現状も明示することが必要である。著者のグループが開発中の地震の高度なシミュレーション¹⁷⁾は、この点に十分な考慮を払うことが重要な課題となっている。

参考文献

- 1) 例えば、保野健治郎(1986)「地震防災行政の今日」『土木学会誌』, 71(4), 58-60.
- 2) 山崎文雄, 副島紀代, 目黒公郎, 片山恒雄(1995)「釧路市民に対する地震防災アンケート調査」, 『土木学会論文集』, 507/I-30, 265-277.
- 3) 読売新聞中部版(2002), 木造耐震診断半額補助 愛知の10市町村99.8%が受けず, 8月29日朝刊.
- 4) 大林厚臣 (2002)「意思決定論の地震防災における応用可能性」『社会技術研究イニシャティブ』(地震防災グループ) <http://www-msd.civil.tohoku.ac.jp/~EDPRG/mate/03/obayashi03124.htm>.
- 5) 気象庁(2003)「この半世紀の予報精度」『気象庁ホームページ』 http://www.data.kishou.go.jp/yohou/kensho/yohohyoka_top.html.
- 6) 乳井泰彦(2003)「第25回定期国民意識調査」『朝日総研リポート』, 160, 142-174.
- 7) 住明正(2003)「気象・気候関係における計算力学」『計算力学と社会』, 160, 119-123.
- 8) 例えば, 気象庁(2000)『平成12年度数値予報研修テキスト』.
- 9) 北出武夫(1980)「第 部 数値予報課 過去・現在・未来」『平成1年度数値予報研修テキスト』(気象庁), 2-6.
- 10) 朝日新聞社総合研究本部(2003)「第3回定期国民意識調査の内, 天気予報の信頼度に関する意識調査結果」(私信).
- 11) 菊地正幸(2003)『リアルタイム地震学』, 東京大学出版会.
- 12) 国土地理院(2003)『電子基準点データ提供サービス』 http://cadusta1.gsi.go.jp/inet_NEW/index.html, 『GPS固定点店観測データ』 http://terras.gsi.go.jp/inet_NEW/index.html.
- 13) 例えば, Furumura, T. and K. Koketsu (1998), Specific distribution of ground motion during the 1995 Kobe earthquake and its generation mechanism, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 785-788.
- 14) 堀宗朗, 市村強(2002)「高分解能強震動シミュレータの開発」『土木学会誌』, 87(12), 39-40.
- 15) 国土交通省(旧建設省)住宅局監修(2000)『増補版 木造住宅の耐震精密診断と補強方法』, 日本建築防災協会.
- 16) 例えば, 東京大学神田・高田・崔研究室(2003), 「建物構造性能評価」, <http://ssweb.k.u-tokyo.ac.jp>.
- 17) 市村強・堀宗朗 (2001)「震災統合シミュレーションの開発について」『社会技術研究イニシャティブ』(地震防災グループ) <http://www-msd.civil.tohoku.ac.jp/~EDPRG/mate/mate/ichimura011206.files/frame.htm>.

謝辞

本論文を作成するに当たり、東京大学地震研究所土井恵治助教ならびに朝日新聞社総合研究本部より資料の提供をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

ON GENERATION AND CONVEY OF EARTHQUAKE INFORMATION FOR PROMOTING EARTHQUAKE DISASTER MITIGATION

Muneo HORI¹, Tsuyoshi ICHIMURA², and Kenjiro TERADA³

¹Ph.D. (Applied Mechanics) Professor, Earthquake Research Institute, University of Tokyo (E-mail: hori@eri.u-tokyo.ac.jp)

²Ph.D. (Civil Engineering), Dept. of Civil Engineering, Tohoku University (E-mail: t-ichim@civil.t.tohoku.ac.jp)

³Ph.D. (Mechanical Engineering), Dept. of Civil Engineering, Tohoku University (E-mail: tei@civil.t.tohoku.ac.jp)

Consciousness of earthquake hazard is important for promoting earthquake disaster prevention. However, it is not at high level, partially due to subjective recognition of hazards. Weather forecast has attained high reliability, making recognition of weather disaster more objective. We study development of weather forecast technologies and contribution to make weather information more trust-worthy. Comparing these technologies with the ones for earthquake information, we discuss the direction of generating and delivering earthquake information to achieve more objective recognition of hazards. It is concluded that the key issues are to deliver the processes of generating earthquake information even if they contain mistakes, as well as to increase the quality of the information.

Key Words: *Earthquake hazard prevention, earthquake information, weather information, prediction of natural phenomena, convey of information*