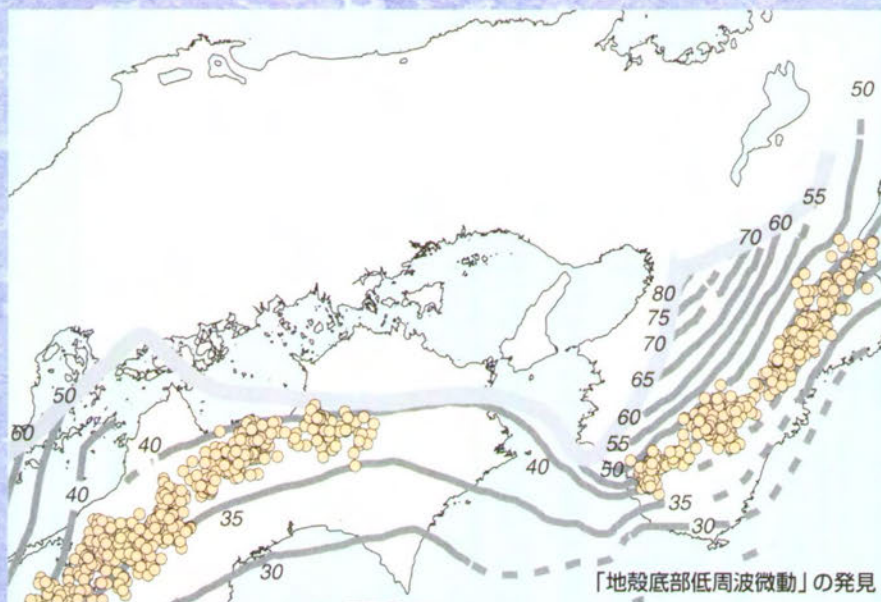


災害に強い社会をめざして

第1回

防災科学技術研究所
成果発表会



災害に強い社会をめざして

第1回

**防災科学技術研究所
成果発表会**

目次

ごあいさつ | 5

講演会 第1部

防災科学技術研究所の概要 | 6

片山恒雄(理事長)

高解像度大気・海洋結合シミュレーションモデルの開発 | 8

－台風・梅雨の将来予測に向けて－

松浦知徳(総合防災研究部門)

雪氷防災研究の現状と今後の展開 | 10

佐藤篤司(雪氷防災研究部門)

講演会 第2部

「地殻底部低周波微動」の発見 | 12

－地震学におけるその意義－

小原一成(固体地球研究部門)

地震動予測地図の作成 | 14

藤原広行(防災基盤科学技術研究部門)

地震防災への新たな取り組み | 16

－地震防災フロンティア研究センターの活動－

亀田弘行(地震防災フロンティア研究センター)

ポスター発表

地震

高感度地震観測から描く東海地震のイメージ | 18

松村正三(固体地球研究部門)

地震による強い揺れが到着する前に震源情報発信する新技術 | 19

堀内茂木 他(固体地球研究部門)

諸外国で用いられている震度と気象庁震度の関係 | 20

功刀 卓(特別研究員)

地震による建物などの破壊過程の研究 | 21

小川信行 他(総合防災研究部門)

地震災害軽減のための技術開発 | 22

－災害状況の把握、被害の推定、復興過程の監視－

松岡昌志 他（地震防災フロンティア研究センター）

インド・グジャラート地震災害のケーススタディ | 23

新井 洋 他（地震防災フロンティア研究センター）

アジア・太平洋域の地震・津波災害抑止戦略のための方法論 | 24

ラジブ・シヨウ 他（地震防災フロンティア研究センター）

火山

最近の富士山の活動 | 25

鷗川元雄（固体地球研究部門）

航空機搭載型マルチスペクトルスキャナによる火山観測 | 26

－空から火山活動を監視する技術－

實淵哲也（防災基盤科学技術研究部門）

大雨・洪水

マルチパラメータレーダを用いた雲や雨の観測 | 27

－雲を観る新しい技術と雨・風情報のリアルタイム提供－

真木雅之（防災基盤科学技術研究部門）

平成12年9月東海豪雨における河川の洪水流出 | 28

中根和郎（総合防災研究部門）

土砂災害

「地すべり地形分布図」の多面的活用 | 29

井口 隆（総合防災研究部門）

雪氷

日本の積雪地域の気候的な特徴と近年の変化 | 30

石坂雅昭（雪氷防災研究部門）

雪雲の山越えによる降雪集中のしくみ | 31

中井専人（雪氷防災研究部門）

北半球雪氷域における冬季の気温と降水量の経年変化 | 32

小杉健二（雪氷防災研究部門）



独立行政法人
防災科学技術研究所
理事長 片山 恒雄

ごあいさつ

本日は、防災科学技術研究所(防災科研)の成果発表会にご出席いただき本当にありがとうございます。

防災科研では、「災害から人命を守り、災害の教訓を活かして発展を続ける災害に強い社会の実現を目指すこと」を基本目標とし、研究開発を進めてきました。その成果は、個々の研究者が研究論文として発表するとともに、各種の委員会に資料として提供するなど、国の防災行政に貢献してきました。また、1995年兵庫県南部地震後に全国的に展開した地震計ネットワークの記録の公開は、防災関係者に極めて高く評価されています。

しかしながら、従来の情報発信だけで十分だったとは決して考えていません。とくに昨年4月に独立行政法人となったことを機会に、もっと積極的に成果の普及と活用に努めるべきであるとし、いろいろと努力してきました。私たちの研究や活動の成果は、社会に役立つ形で還元されて、はじめて意味のあるものとなります。そのためには、まず、調査研究の成果をより積極的に公開提供し、活動の内容を広く社会に理解していただくことが大切です。

残念ながら、これまでの防災科研は、このために十分な努力を払ってきたとは言えません。今回の成果発表会は、独立行政法人・防災科研にとって初めての成果発表会であり、社会に役立つことを念頭に研究を進めようとする防災科研の活動を理解していただくための第一歩でもあります。防災科研に何が望まれているか、私たちに何が欠けているかについて忌憚の無いご意見をいただければ幸いです。

防災科学技術研究所の概要

－災害に強い社会の実現をめざして－

理事長
片山恒雄

研究所の概要といっても、研究所そのものの話は最小限にし、最近私たちの研究所（以下、防災科研という）がやってきたことを中心に話したい。1959年に伊勢湾台風が5000人にのぼる犠牲者を出したことをきっかけとし、自然災害の研究を行う国立の研究所が必要との考えから、国立防災科学技術センターが発足した。1963年4月のことである。発足当時は、20人程度の定員であった。その後、1980年代初めまでは、定員も順調に増加し、職員約120人、年間予算約25億円の研究機関となった。しかし、それ以来、定員の増加の無いなかで、予算は増加を続け、平成14年度には、役職員115人（うち非常勤1人を含み役員4人）に対して、予算総額はおよそ125億円に達している。とくに、1995年兵庫県南部地震後の国の政策に基づく地震防災にかかわる研究費の増加が目立っている。

わが国で研究対象とすべき自然災害は、地震・火山・台風・豪雨・土砂崩れから雪氷災害まで広い範囲にわたる。研究者の数や活動分野の広さから見て、防災科研の目玉は、地震を中心とした地球科学の分野である。1978年から継続している関東・東海地域の高感度地震計網による観測結果によって、この地域の地震発生の様子が明らかになり、中央防災会議が1979年に想定した東海地震の震源域が、最近西方にシフトした新しい震源域に改められた。東海地震発生に関係する直前の異常現象を見逃さない体制が構築され、実績が積み重ねられている。

1995年兵庫県南部地震後、日本中を高密度でカバーする地震計網の設置、記録の収集と配信を防災科研が行っている。1996年には、被害につながる強い地震動を記録する地震計を1,000箇所に置いたK-NETが動き出した。その後、非常に弱いゆれを検知して、全国的な地震活動のレベルや性質の違いを明らかにするための約500箇所の高感度地震計網(Hi-net)及び断層の破壊過程や地球内部構造を解明するため全国約60箇所に展開している広帯域地震計網(F-net)の設置が進められている。Hi-net地点には、地表面と地下に強震計が併設されている(Kik-net)。K-NETとKik-netから得られる強震動記録は、耐震設計等のために不可欠のデータとして国内外の研究者やエンジニアに高く評価されている。Hi-netとF-net観測データは、24時間連続でつくばの「防災研究情報センター」に伝送されており、Hi-netのデータは、リアルタイムで気象庁に送られて日本全国の地震発生の監視に使われている。防災科研が地震計を設置している箇所数は1,700に及び、作業の相当部分はアウトソースされているものの、信頼できるデータに対する最終責任は、少数の研究者の肩にかかっている。

このような縁の下での力持ちとしての責任は、誰かが担わざるを得ない。しかし、大学や民間企業で組織的、継続的に行うことは難しい。観測の継続が直接的に目に見える成果として広く社会に認知される機会は少ないが、地震に対して安全な社会を実現するために不可欠な仕事である。防災科研が三宅島や富士山などで続けている火山観測、山地積雪深の観測とデータベース化、地すべり地形分布図の作成などは、多かれ少なかれ自然災害軽減のためのインフラ的作業である。これらの作業の成果は、

論文の量産にはつながらないが、防災に対して有効な情報を与える。一昨年6月末の三宅島噴火の際には、防災科研の傾斜計の記録が直前情報を与え、最近、地震学界を賑わしている「低周波微動」は、Hi-netの記録を見続ける研究者の不断の努力の中から生まれたものである（小原一成が詳しく報告する）。

地震観測の結果をもっと直接的に防災に役立てるため、産官学のリアルタイム地震情報利用協議会を発足させた。例えば、100km離れたところに起きた地震のゆれが伝わってくるまでには30秒ほど時間がかかる。この余裕を防災に使うという極めて実学的な研究であり、実用化の可能性を自治体や民間企業と具体的に検討している。また、特定の地震を対象にして、ゆれの強さの分布を予測する地図をつくり、これをもとに被害を予測しようという研究は、単なる解析例をつくるだけではなく、予測の結果を防災に役立てようというものである。ゆれの強さを予測する部分に、防災科研の地震計ネットワークからの実際の記録を使う目論見も進んでいる（藤原広行が報告する）。

1995年兵庫県南部地震の経験から、極めて強いゆれに対しては、ある程度の被害を許容しようという設計体系が取り入れられつつある。このためには、構造物が破壊に至るプロセスを明らかにしなければならない。地震後の被害は多くの人が見ているが、本物の構造物が壊れる過程が仔細に観察されたことはない。これを再現できるような震動台を兵庫県三木市に建設中である。2005年完成予定の震動台は、1200トンの構造物を±1mのゆれ幅で3次元的にゆらすことができる。できあがった施設を国内外の研究者の共同利用施設としていかに運営するかを検討している。

台風、梅雨、降雪などの気象災害、土砂災害、災害に強い社会システムの形成なども、防災科研の大切な研究分野である。台風や梅雨前線の消長をコンピュータでシミュレーションする研究は、現時点でもっとも実現象をよく説明するモデルの開発に成功し、その成果がいくつかの研究論文として国際的な専門誌に掲載され始めた（松浦知徳が詳しく報告する）。また、雪氷災害に関しては、本物と類似の結晶構造を持つ雪を降らせることのできる、世界で唯一の雪氷防災実験棟を使った実験研究が国内外で注目されている（佐藤篤司が報告する）。

独立行政法人化を機に、理研から移管された「地震防災フロンティア研究センター」は、兵庫県三木市に居を構え、都市機能を構成する人、情報、システムなど総合的な視野から地震に強い都市づくりを目指した先端的な研究を進めている。すべての研究者が1年ごとの年度雇用であり、若い研究者のアイデアにあふれた研究成果が、その研究システムとともに注目を浴びている（亀田弘行が詳しく報告する）。

防災科研は研究施設や予算の面では恵まれた研究所である。研究職の職員が77人と少なく、縁の下の力持ち的な業務が多いなど、研究者にとって厳しい状況にはあるが、研究の成果は質的、量的ともに高いレベルにある。問題は、成果を目に見える形で社会に還元することの難しい分野であることに加えて、これまで還元の努力も十分とは言えなかったことである。自然災害の軽減研究は、どんな先端的な科学技術と比べても遜色のない重要性を持ち、国からの強いバックアップが不可欠な研究分野でもある。防災科研は、従来からの地道な努力に加えて、今後さらに積極的に社会へのアピールを強めていきたい。

高解像度大気・海洋結合シミュレーションモデルの開発

—台風・梅雨の将来予測に向けて—

総合防災研究部門

松浦知徳

我々が毎年被害を受けている水災害は主に台風の通過時、梅雨の末期、強い温帯低気圧の通過時に起きている。過去 40 年の調査によると、これら 3 つの気象現象による日本の水災害は年平均 4 7 件、死者・行方不明者が年平均 2 5 7 人であり、被害額も 2, 2 5 2 億円に達する。これらの水災害が地球温暖化等の気候変動に伴ってどのように変質するのかを定量的に予測・評価することは、将来の防災計画や防災対策にとって緊急の課題である。そのため、防災科学技術研究所では地球温暖化やエルニーニョといった地球規模の気候変動と台風や梅雨前線といった日本に水災害をもたらす中規模気象現象を、同時に再現できる高解像度大気海洋結合モデル (CGCM) を開発した。開発した CGCM の特性と、将来どのように水災害予測に利用していくのかを紹介する。

CGCM は大気、陸域、海洋の地球システムを構成している部分が同時にモデル化されている。このモデルは物理法則に基づいて組み立てられており、地球システムの物理法則を数式で表現したプログラムを用意し、そこにシステムの初期状態と外部からの影響を与えてスーパーコンピュータを使って、システムがその後どのように変化していくかをシミュレートしていく。我々の開発した CGCM では、太陽からの日射条件を外部影響として与えるだけで観測されているような台風やエルニーニョといった気象現象や気候変動現象が現れる。

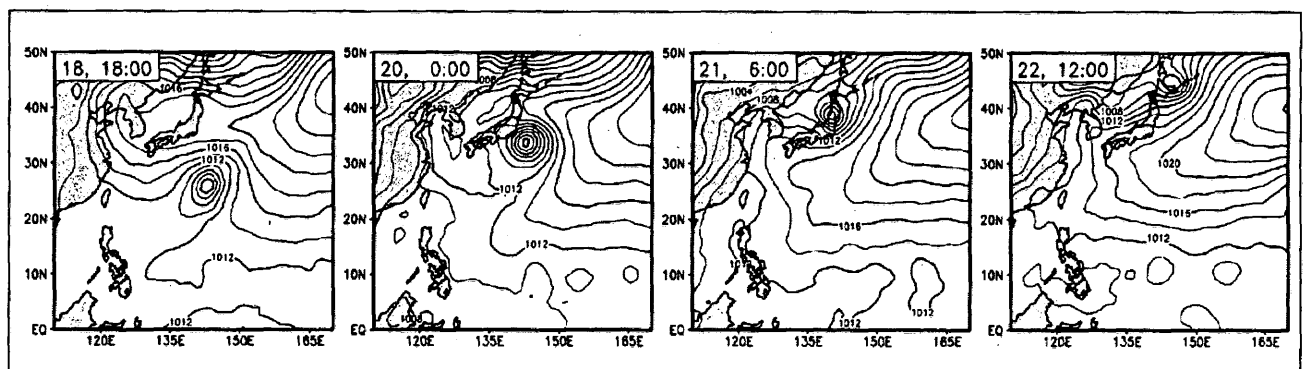


図 1. 高解像度大気海洋結合モデルで発生した代表的な台風

図 1 は CGCM の中で発生した代表的な台風を示している。モデルの 7 月 13 日に北西太平洋の海域 150° E, 10° N 付近に弱い熱帯低気圧が発生した。この熱帯低気圧は 4 日後 (7 月 17 日)、北西 140° E, 20° N の位置に移動し、18 日には急激に発達し台風となっている。このモデル台風は北上を続け、20 日には日本に上陸し、21 日には東北地方に達しているが、その後北東に進みながら急激に減衰している。

次に台風活動と ENSO の関係を示す。20 年間のシミュレーションでは、エルニーニョ年に平均 7.6 個、ラニーニャ年に平均 8.8 個の台風が発生した。ところで、1971 年～93 年の観測では、エルニーニョ年の平均発生数が 17.0 個、ラニーニャ年が 19.6 個である。絶対数が少ないとはいえ、ラニーニャ年の方が発生数が多くなる傾向は観測とシミュレーションで一致している。また、台風の発生位置についても、シミュレーションの結果を見ると、エルニーニョ年では発生位置が東にずれ、ラニーニャ年では西にずれる（図 2）。このモデルで現れた ENSO と台風活動に関して、発生数と発生位置共に観測と一致しており、開発した CGCM が台風活動の長期変動予測に利用できることを示している。

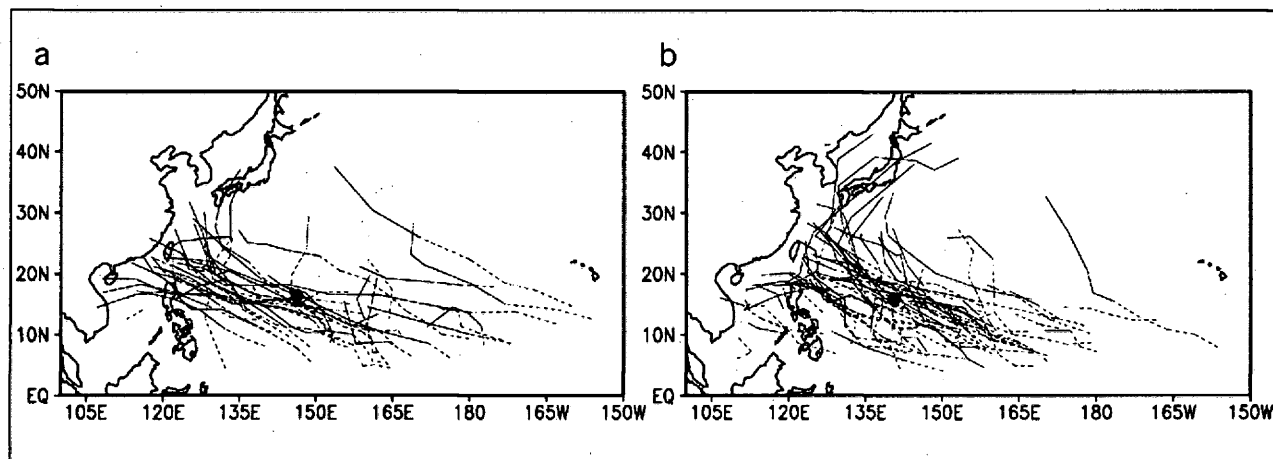


図 2. 高解像度大気海洋結合モデルで再現された台風の経路。点線が台風になる前の経路を示し、実線は台風になった後の進路。●は台風の発生位置の重心を示す。

a : ENSO の暖かいフェーズ, b : ENSO の冷たいフェーズ

ところで、CGCM の開発には超高速なスーパーコンピュータとモデリングといった高度な最新技術が要求される。このような科学技術は、1940 年代後半からアメリカ合衆国においてフェン・ノイマンを中心としたコンピュータの開発及び気象学者のチャーニーやフィリップを中心とした天気予報の研究に始まり現在に至っている。フェン・ノイマンは今日までにコンピュータを使った数値モデルによって天気予報はもとより、それを使った気候調節まで可能になると予測していた。しかしながら、最近ではカオスの研究が進み、我々が行っているような非線形の流体力学方程式を使った予測に対して、その不可能性が指摘されている。現在我々に求められている課題は、上述の限界を乗り越えて、いかにスーパーコンピュータを使ったモデリングにより日本に水災害をもたらす中規模気象現象を予測し防災科学に役立てていくかということである。

次の段階として、我々は開発した CGCM の長期ランを実行し、その結果を「異常気象の長期変動の評価と推移予測」、「洪水・渇水災害長期危険度変化の予測」や「沿岸災害長期危険度変化の予測」に利用していくことを計画している。

雪氷防災研究の現状と今後の展開

－ 地球温暖化の時代における雪氷研究の役割 －

雪氷防災研究部門

佐藤篤司

1. はじめに

我が国の面積の半分以上を占める豪雪地帯はもちろんのこと、時には太平洋側においても、毎冬、多種多様の雪氷災害が発生しています。車依存化、高速交通網の延伸等による社会構造の変化や地球規模の気候変化に伴い、雪氷災害の発現の様相が変化して来ています。一方、地球規模の温暖化傾向の中、我が国においては10数年に渡って暖冬少雪傾向が続いています。ところが、このような状況の中で雪氷防災研究の役割は減じているどころか、益々重要性を高めているのです。この矛盾したような実状を以下の3項目に分けて述べてみたいと思います。

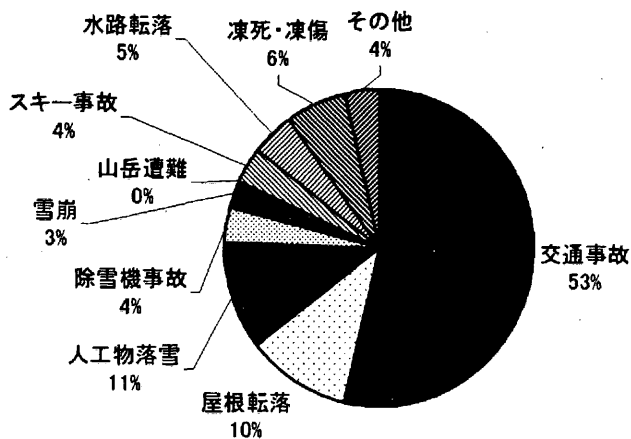
2. 雪害の現状とその予測研究

10年以上続いた暖冬少雪のなか、昨年の冬は久しぶりの「やや大雪」を記録した地方が多くなりました。最大積雪深の長期変動記録から見ると小幅な増加でしたが、各地で雪氷災害が多発しました。21世紀最初の豪雪となったのです。2000年11月から2001年5月まで、新潟県以北の計8道県の雪氷災害を各地方新聞から収集・整理したものを少し紹介します。

図にまとめたように北日本全体で災害件数688件、死者数208人となり、我が国における大災害と言うべき状況となりました。雪害種別に見ると交通事故によるものが飛び抜けて多く、次いで屋根等からの落雪、屋根からの転落、除雪機事故、雪崩などが続きます。

このような雪氷災害に対し、我々のなし得る最善の策は予測を的確に出すことによる災害回

死者数(208人)



避ではないかと考えます。また、防止対策の直前実行を可能ならしめることではないでしょう

か。そのために5年間の中期計画として「雪氷災害の発生予測に関する研究」を立ち上げました。この中で、雪害発生の原因である降雪予測の高精度化を先ず推進し、次に、地上に積もった積雪の性状をそこでの気象予測値に基づいて予測します。このことによって、代表的な雪害である「吹雪」、「雪崩」等の発生予測、そして交通事故の主要因である「道路雪氷」状況の予測を行うこととしました。

3. 極域雪氷研究

地球の南極・北極を中心とした高緯度帯は一年中あるいは長期間、雪と氷に覆われており、わずかの気温変動特に温暖化に対して非常に敏感な地域です。そして、日本の雪国は北極を中心とした雪氷圏の最南端として位置づけられます。

広域雪氷圏の変動は単に雪や氷の融解に止まらず、ユーラシア大陸、北アメリカ大陸の広大な永久凍土の融解やそれに伴うメタンガス等の放出、森林・植生の変化、昆虫・動物を含む生態系全体の変動が懸念されています。これらを通して極域雪氷圏の変動は地球全体の気候に対してフィードバックすることも指摘されております。この分野はまだ未知の点が多く、観測と解析、それに数値シミュレーションを組み合わせた研究が世界各国で開始されています。我々雪氷研究部門では数年前からフィンランドとアラスカで観測研究を始め、年間を通した観測データの集積を行っています。

4. 雪氷エネルギーの利活用に関する研究

雪国では雪氷を食物貯蔵用の冷熱源として古くから利用してきました。氷室（ひむろ）や雪室（ゆきむろ）として知られ、夏場での貴重な冷熱エネルギーでした。冷蔵庫の普及が広まると、雪国でのこの伝統的な利用法はほぼ消滅したかに見えました。しかし、最近の温暖化防止、二酸化炭素削減の認識の高まりは、クリーンな自然エネルギーの一つとして、雪氷の冷熱に再び注目が集まっています。政府も風力・バイオなどと共に雪氷エネルギーに対しても開発研究の助成を始めたところです。

雪国においては有り余る降雪・積雪が災害を招くことから、我々は雪氷の防災研究とその大量の積雪エネルギーの利活用を組み合わせた技術開発を目指します。

5. おわりに

防災科学技術研究所は平成13年度から独立行政法人となり、雪氷研究グループとして長岡と新庄が統合されました。この雪氷防災研究部門が一丸となって取り組むべき研究プロジェクトを前記のように3つに分けて紹介しました。雪国はまだまだ雪によるハンディキャップを多く抱えています。しかし、雪氷災害が国内での災害として相対的に低い認識しかされていない現状があります。これらの災害の軽減を計る一方、雪国からしか見えない地球科学の推進を行い、天然の貴重な資源である雪の有効利用を進め、美しい環境の豊かな雪国を作るために貢献する努力を続けたいと思っています。

「地殻底部低周波微動」の発見

—地震学におけるその意義—

固体地球研究部門

小原一成

普通の地震では、始めに縦波（P波）、次に大きな横波（S波）がきて、しばらくすると揺れはおさまるが、活動的な火山付近ではP波やS波の区別のつかない揺れがいつまでも続く、いわゆる火山性微動が発生することがある。これと似たような微動が、火山の存在していない西南日本の、しかも深い場所で常に発生していることが、防災科学技術研究所のHi-netによる微小地震連続観測によって、初めて明らかになった。Hi-netとは、地下の様子を詳しく知る目的で日本全国の約600ヶ所に整備された高感度地震観測網のことで、そのおかげで小さな地震まで確実に検知できるようになってきている。このような、微小地震の検知能力の向上が、微動の発見に繋がった。

図1(上)は、四国西部の伊方における1時間の連続波形生記録で、全体的に見られるゆっくりした動きは、海岸に押し寄せる波浪による振動が内陸まで届いたもので脈動と呼ばれるが、さらに小刻みに揺れるノイズと思えるような振動が後半の約15分間に見られる。これが微動であるが、Hi-net以前は観測点がまばらで、たとえ1つの観測点で微動が記録されたとしても、それが自然現象か、あるいは人為的なノイズなのかの判別は困難であった。しかしHi-netによって、S/Nの良い観測点の密度が飛躍的に高くなり、微弱なシグナルでも多くの観測点で同時に捉えられるようになったことから、微動として認識できるようになった。非常に微弱な微動を検出し解析する上で、エンベロープ（二乗平均平方根）に変換することは大変有効である。伊方とその周囲の観測点を含めたエンベロープ記録を図1(下)に示す。35分から50分ごろにかけて出現する振幅の高まりは、複数の観測点で同時に観測されることから、車両や工場等の人為的な

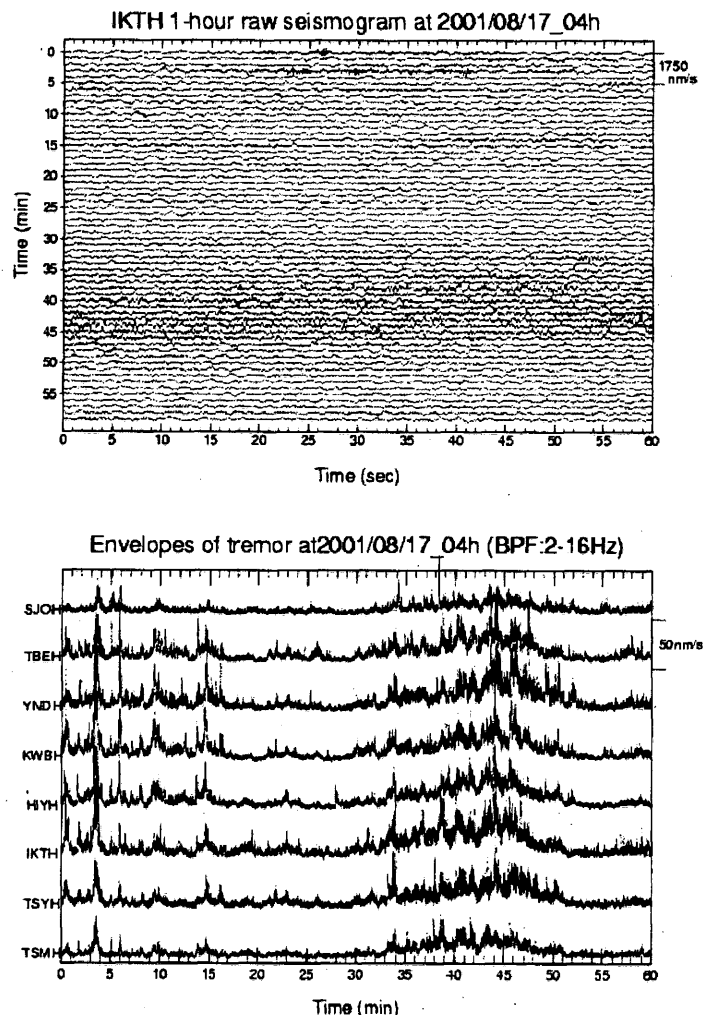


図1(上)伊方高感度地震観測施設における1時間の連続波形生記録(2001年8月17日4時)。(下)四国西部の8観測点における1時間のエンベロープ波形記録。

ノイズではなく、自然現象であることがわかる。微動の卓越周波数は約 2 Hz 以上であるが、ふつうの地震に比べると低いので、「低周波微動」と呼んでいる。

微動は P 波や S 波の区別がつきにくく、通常の方法で震源を決めることが困難であるため、エンベロープ記録の相似性に着目して、連続的に震源決定を行う手法を開発した。微動源は 1 分ごとに求められるが、ばらつきが大きいので、1 時間ごとに得られる微動源分布の中心をその時間帯における微動源として、その震央位置を示したのが図 2 である。微動源は、長野県南部から豊後水道に至る長さ約 600km の範囲に帯状に分布する。この分布は、フィリピン海プレートの幾何学的形状と非常に良い関係を示し、同プレート内に発生する深さ 35~45km の地震の震央位置とほぼ一致する。微動源の深さは、それらの地震の直上、およそ 30km で、地殻とマントルの境界であるモホ面近傍に相当する。現時点では紀伊水道から徳島県東部の地域では微動は確認されていない。微動は短時間で終わるともあるが、一旦活動を開始すると長い場合では 2~3 週間にわたって継続することがある。このような活動期の後には 2~3 ヶ月、静穏化する。また、微動は付近で発生した比較的大きな地震をきっかけに活動的になる場合がある。例えば、2001 年 3 月 24 日の芸予地震 (M6.4) の直後から四国での微動が活発化した。一方、近くで発生した地震によって微動がおさまった例もある。また、微動源は一ヶ所に留まらず、移動しやすい性質を有する。四国西部は微動が非常に活発な地域であるが、2001 年 1 月には東から西へ、また 8 月には西から東へ、1 日に約 10km のスピードで微動源が徐々に移動する現象が見られた。

高感度地震観測網の整備とともに、富士山をはじめとする各地の火山周辺や、鳥取県西部地震の震源域など地下に断層が存在すると考えられる様々な場所でも、モホ面近傍を震源とする低周波微小地震が見つかってきている。これらの低周波微小地震も連鎖的に発生し、数分から 1 時間程度継続することがあるが、それらと比べると、西南日本で発見された微動は、発生域や継続時間などの時空間のスケールが桁違いに大きい現象であると言える。微動の発生メカニズムはまだ解明されていないが、その連鎖性や移動性から、流体が関与していることが予想される。沈み込むプレートでは岩石から水が搾り出される脱水反応が起こっていることから、微動発生に関与する流体はプレートから供給されたものと考えられる。このような流体の存在やその挙動を明らかにすることは、沈み込み帯における地震発生や地質形成を解明する上で非常に重要である。

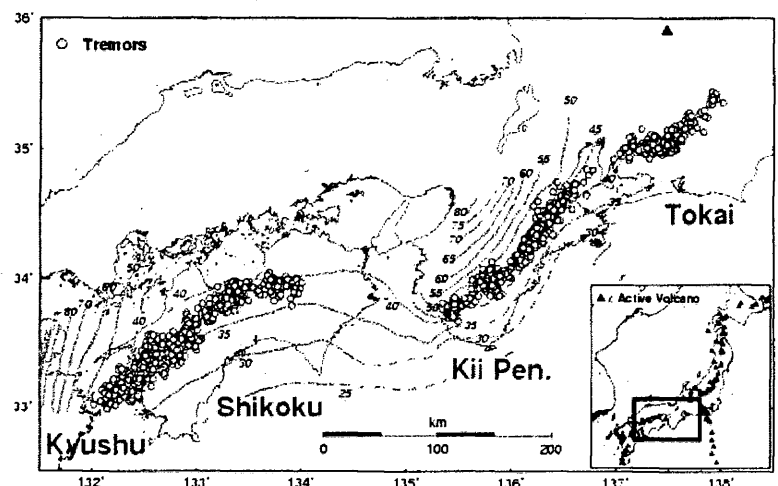


図2 微動源の震央分布(2001 年の1年間)。実線と破線、及び点線は中村・他[1997]によるフィリピン海プレート内に発生する普通地震活動の等深線(単位:km)及びリーディングエッジ(プレート内地震活動の先端部)である。

地震動予測地図の作成

防災基盤科学技術研究部門
藤原広行

1. はじめに

独立行政法人防災科学技術研究所では、地震調査研究推進本部地震調査委員会が進めている「全国を概観する地震動予測地図」の作成を支援するため、平成 13 年 4 月より特定プロジェクト研究「地震動予測地図作成手法の研究」を実施している。地震動予測地図の作成は、平成 11 年 4 月に地震調査研究推進本部によりとりまとめられた「地震調査研究の推進についてー地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策ー」に基づいて進められており、平成 16 年度を目途に「全国を概観する地震動予測地図」を作成することを目指している。

2. プロジェクトの概要

地震動予測地図は、確率論的手法による地震動予測地図（確率論的予測地図）とシナリオ地震による地震動予測地図（シナリオ地震地図）という 2 種類のタイプの異なった地図から構成される。「地震動予測地図作成手法の研究」では、下記の 3 つの研究項目を立て技術的な検討を実施している（図 1）。

- ① 確率論的手法による地震動予測地図作成手法の研究
- ② シナリオ地震による地震動予測地図作成手法の研究
- ③ 地震動予測地図公開システムの開発

地震動予測地図作成手法の研究

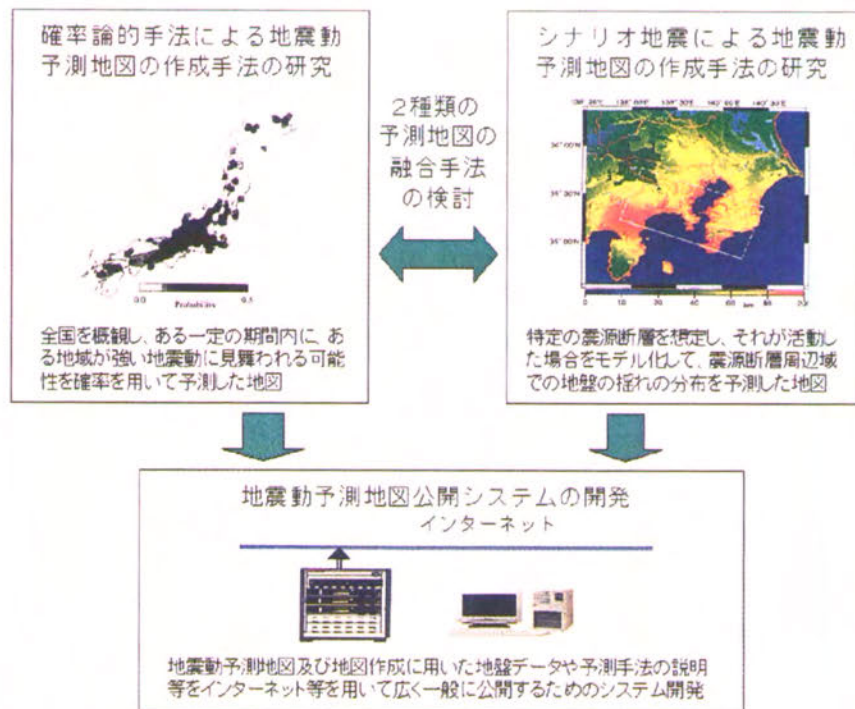


図 1 地震動予測地図作成手法の研究の概要

ここで、確率論的予測地図とは、地震工学・地震学分野で確率論的地震ハザードマップと呼ばれるものに相当し、全国を概観し、ある一定期間内に、ある地域が強い地震動に見舞われる可能性を確率を用いて予測した地図である。一般には、期間・地震動レベル・確率のうち2つを固定し、残りの1つの分布を地図上に示したものである。

一方、シナリオ地震地図とは、特定の震源断層を想定し、それが活動した場合に、震源断層周辺域で生じる地盤の揺れの分布を示す地図である。特定の震源断層としては、地震調査委員会長期評価部会により、地震発生確率の長期評価及び断層の形状評価がなされた地震の中で、特に地震の発生確率が高いとされたものが選定される予定である。

3. 地震動予測手法

地震動予測地図では、工学的基盤及び地表の2つの出力地点において、約1kmメッシュ程度の分解能で、地震動強度の分布を示す地図を作成することを目指している。現状では、地震動予測手法として1つの確立された手法が存在するわけではなく、簡便なものから複雑な手続きを必要とするものまで、様々なレベルの手法が提案されている。地震動予測地図の作成にあたっては、地震動の予測手法を、簡便法と詳細法と呼ばれる2つの手法に大きく分類し、目的に応じて使い分けている。

簡便法とは、地震規模（マグニチュード）や震源からの距離、地盤増幅率等のごく少数のパラメータを用いて経験的に表現された地震動指標（最大加速度、最大速度等）の距離減衰式を用いる手法である。入力パラメータの数が限られているために、震源や地下構造の固有の性質を十分反映することができず、地震動の時刻歴波形も得られないが、震源や地下構造に関する詳細な情報がない場合でも、平均的な広範囲の地震動分布を容易に評価できるという特徴を持つ。

詳細法は、断層破壊過程や地下構造の固有の性質を、数多くのパラメータを用いて詳細にモデル化でき、かつ地震動の時刻歴波形が計算できる地震動予測手法である。その特徴は以下のようになる。

- ① 震源での詳細かつ複雑な断層パラメータの影響を表現できる
- ② 地震波伝播経路での詳細かつ複雑な地下構造の影響を表現できる
- ③ 表層地盤での詳細かつ複雑な地震時挙動の影響を評価できる
- ④ 時刻歴波形が計算できる

4. 今後に向けて

より信頼性の高い地震動予測地図作成のための前提となる、深部地下構造のモデル化及び浅部地盤のモデル化のための基礎データは、未だ十分な状況にはない。予測精度の向上のために必要不可欠なこうした地下構造データの収集・データベース化は、今後の地震動予測地図作成において極めて重要な課題となっており、これまで以上に積極的な取り組みが望まれる。

また、今後作成される地震動予測地図は、将来、実際に発生する地震により引き起こされる地震動と比較検討することにより改善がなされ、高精度化されていかなければならない。こうした、検証作業を可能とするためには、現在、防災科学技術研究所で運営されている K-NET・KiK-net に代表されるような全国的な規模で展開された強震動波形データ収集のための観測網の維持管理及び、さらなる観測体制の強化が必要不可欠と考えられる。詳細な手法による地震動予測地図作成の試みはまだ始まったばかりであり、その予測精度に関しては、未知数の部分も数多くある。少なくとも今後数十年以上にわたる地道な観測データの集積とそれに基づいた検証作業を継続することが、本当に信頼の置ける地震動予測地図作成のために必要な条件であろう。

地震調査研究の推進は、地道な観測網の維持管理や様々なデータ収集のための調査によって支えられている。今後とも多くの方々のご理解ご支援をお願いしたい。

地震防災への新たな取り組み

－地震防災フロンティア研究センターの活動－

地震防災フロンティア研究センター

亀田 弘行

1. 設立の経緯

1995年に発生した阪神・淡路大震災は、現代の都市構造に潜む大きな脆弱性を衝撃的な姿で顕在化させ、ハードな耐震技術への依存が高かった地震防災体制全体を、物理的課題・社会的課題・情報課題を克服する総合的な防災の仕組に再構築することが急務であることを示した。地震防災フロンティア研究センター(EDM: Earthquake Disaster Mitigation Research Center)は、こうした総合的視野を持って、「都市部を中心とする地震災害の軽減を目指す先導的な研究」を行うことを目的として、1999年1月、兵庫県三木市に開設された。

その発足に当たっては、阪神・淡路大震災の教訓を将来に生かすために科学技術庁(当時)で検討が進められた「地震防災研究基盤」の一環として、理化学研究所の機動的先端研究プログラム/フロンティア研究システムの機構のもとに開設された。さらに、国の行政機構改革の一環として科学技術庁(文部科学省)防災科学技術研究所が独立行政法人となるのを機会に、2001年4月、防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター(EDM-NIED)として再出発した。現在の所在地は三木市内の三木山森林公園内にあるが、2003年4月に、兵庫県が神戸市内の東部新都心(HAT神戸)に建設中の新設建物内に移転する予定となっている。

2. 研究体制

センターの研究は、1998年1月の発足以来、災害過程シミュレーションチーム(社会的課題)、災害情報システムチーム(情報課題)、破壊・脆弱性評価チーム(物理的課題)の3チーム体制で進めてきた。また、国際プロジェクトの一環として、当センターが中心となって、科学技術振興調整費の多国間型国際共同研究による「アジア・太平洋地域に適した地震・津波災害軽減技術の開発とその体系化に関する研究(EqTAP)」(1999～2003年度)を推進している。先端技術の中核とするセンター独自の研究活動を縦系とし、国際的広がりの中での総合化を横系として、センターの活動にスタッフ一同努力している。こうした実績の上に立ち、2001年度には第4のチームである国際防災戦略研究チーム(政策課題)を立ち上げ、外国人のチームリーダー(リスクマネジメントの専門家)を迎えて、その活動を開始している。

3. 研究課題

当センターが現在進めている研究課題は、以下のように要約できる。

1) 地震災害過程の総合シミュレーションに関する研究(災害過程シミュレーションチーム)

地震防災の社会的課題を中心に、発災直後の救援・避難から中長期的な復旧・復興に至る地震災害過程を総合的に理解するため、シミュレーションシステム並びにマルチメディアによる可視化システムを構築する。

2) 地震時危機管理のための情報システムに関する研究(災害情報システムチーム)

地震災害発生時の緊急対応に関する情報課題を解決し、防災関係機関相互の連携、住民への情報伝達、情報共有などに貢献するため、リモートセンシング、先端的情報通信技術、地震工学などの幅広い分野の先端技術を取り入れた情報システムを構築する。

3) 都市構造物の地震時破壊機構と都市の脆弱性評価に関する研究（破壊・脆弱性評価チーム）

地震防災の物理的課題を対象として、都市構造物の地震時破壊機構と都市の脆弱性評価法を開発する。地震発生から構造物の損傷に至る一連の現象を包括的にとらえるため、先端的な耐震解析技術を相互に適用して、地震に対する都市の脆弱性に対する信頼性の高い評価システムを構築する。

4) 地震防災方策に関する研究（国際防災戦略研究チーム）

国内外の地震防災対策の飛躍的改善が必要な都市を選択し、具体的な地震防災方策を検討し、提言する。科学技術振興調整費 EqTAP の成果を反映すること、他の研究チームの成果の総合化と現実への適用プロセス（リスクマネジメントの枠組）を明確にすることを目標とする。

3. 最近の主な研究成果

具体的な研究成果はポスターで発表するが、チーム間の協力により分野横断的な成果が生まれつつある。それらを列挙すると以下のとおりである。

(1) 災害軽減のための手段の開発

- ・夜間可視衛星画像を用いた早期被災地推定システム (EDES) の開発
- ・レーダーリモートセンシングによる被害検出
- ・建物被災度判定トレーニングシステムの開発
- ・K-NET、KIK-NET、マイクロゾーニング、統計的補間による地震動分布の早期推定
- ・CCD カメラによる復興度自動観測システム

(2) インド・グジャラート地震災害（2001 年 1 月 26 日）の総合的ケーススタディ

- ・災害把握の多面的方法—DMSP、LANDSAT、SAR 画像、現地調査
- ・強震動シミュレーションによる観測記録欠如の補完
- ・Patanka 村の復興支援と復興過程のモデル化

(3) 災害抑止戦略のための方法論的展開—EqTAP プロジェクト

- ・アジア・太平洋地域の視点／・マスタープランの構築／・メトロマニラケーススタディへの取り組み／・リスクマネジメントの枠組みの適用

4. むすび

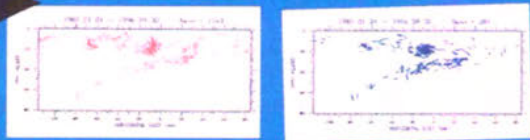
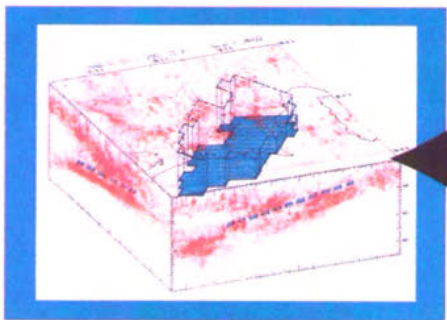
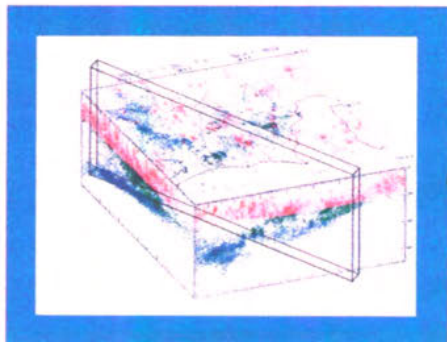
当センターでは、研究の動機付けとその進展過程において、以下の 4 点を重要項目として挙げている。

- (1) 常に防災実務（現場）への適用性を認識すべし（end user）、
- (2) 壁を破る研究（Be innovative）、
- (3) 多分野の総合化を意識すること（Multi-disciplinary）、
- (4) 国際的視野を常に持つこと（International perspective）

これがいま、我が国の防災研究に課せられた最も重要な使命と考えるからである。今後もこの指標を掲げて努力を続けたい。

高感度地震観測から描く 東海地震のイメージ

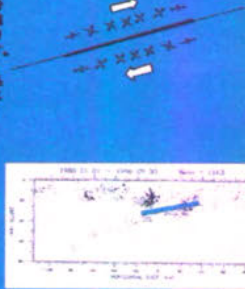
現在、静岡県西部直下にはたくさんの微小地震が起きています。これらの地震データからどのように東海地震がイメージされるのでしょうか？



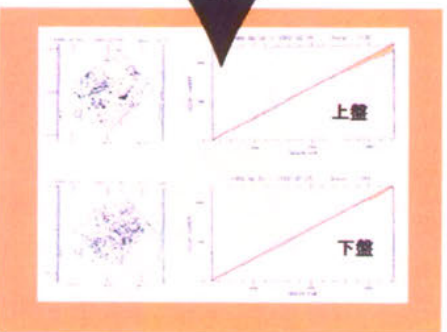
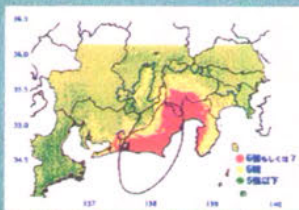
プレートの進行方向に沿って地震活動をスライスしてみると、断層面上に震度分布とメカニズム分布(右側図: この図では圧縮の方向を示す)が描かれ、この図から、フィリピン海プレートの沈み込みと上盤プレートとの摩擦状況が把握されます。

一帯を固定したままプレートが無視やり剪り込み、間隙部分の剪りにしわが寄る、すなわちストレスが集中することが推察されます(右中図)。圧縮と伸張の方向を示す)。断面上のストレス分布と実際の運動状況を見比べることで、スライズされた中での関節運動が特定できます(右下図)。

スライスを何枚も重ねることで静岡県西部の下にあるはずの隠岐島の形状が確定されました（左側の水色部分）。



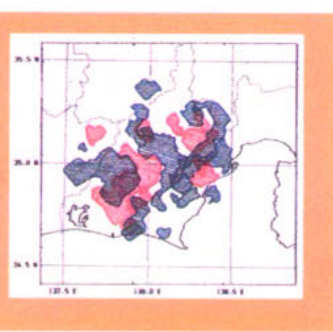
こうした研究成果を踏まえて、中央防衛会議は、京畿地方の想定警備域を22年ぶりに改訂しました（左図から中国）。それまでの想定域よりも内陸部に張り出すことになり、名古屋市などを含む広い地域が新たに想定警備域の範囲にかかってくるという結果となりました。



想定監視域をイメージすることによって、監視範囲をより具体的に絞り込むことができます。

左図では、プレートの接触面を境にして上下盤それぞれの地震発生数の時間変化を観ています。

上下盤とも近年になって平均的に発生率が低下、いわゆる静電化の起きていることが判ります（オレンジ部分）。



左図は、地震発生率変化の空間パターンです。青い地域が静穏化した部分、赤は逆に活性化した部分を示します。

こうしたボタンが何を意味するものであるかはまだよく分かっていません。

けれども、微妙な変化が現実
にキャッチされていると
いう事実は、直前の動きを
捉えることができる、すな
わち東海地震の直前予知の
可能性を期待させてくれま
す。

松村正三 固体地球研究部門

地震による強い揺れが到着する前に 震源情報発信する新技術

プロジェクト全体の中での位置づけ

独立行政法人防災科学技術研究所 特定プロジェクト研究
「リアルタイム地震情報の伝達・利用に関する研究」 (平成13～17年度)

研究項目:

- ①ユーザーが必要とする情報の検討
→ 「協議会」を組織し、地震情報の利用検討を行う
- ②リアルタイム地震情報の伝達に関する研究
→ 様々なリアルタイム地震情報伝達システムを構築する
- ③地震動観測データリアルタイムシステムの開発
→ E-NETを更新し、リアルタイム化する

②リアルタイム地震情報の伝達に関する研究(第13-H17)

研究項目	研究内容	研究内容	研究内容	研究内容
リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達
リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達
リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達
リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達	リアルタイム地震情報の伝達

防災科学技術研究所の高精度地震観測網(平成12年度末)



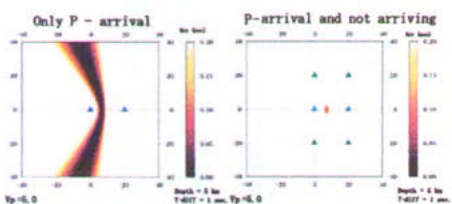
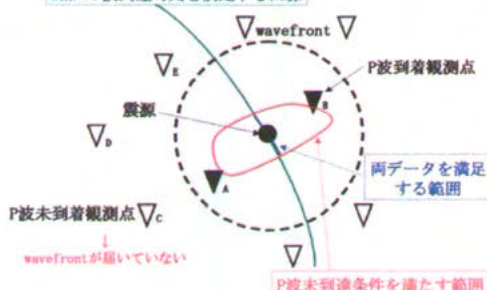
新しい即時自動震源決定手法の開発

P波到達・未到達データを用いた即時自動震源決定

大地震が発生すると、P波が到達し、その後震度の大きなS波主要動が到達する。地震発生直後に正確な震源位置や規模が決定され、主要動到達前にその大きさが推定されるならば、各種防災対策を行うことにより被害の大幅な軽減が期待できる。今回我々は、P波到達時刻の他に、P波が未だ到達していないというデータを利用した新しい即時震源決定手法を開発した。

防災科学技術研究所では、全国に高精度地震観測施設を展開しており(Hi-net)、波形がリアルタイムで研究所にあるデータセンターに伝送されている。本手法をこのデータに適用することにより、データ転送などの遅延時間を考慮しても、震源に最も近い観測点へのP波到達後5秒以内に信頼性の高い(観測網内部で約3kmの震央決定精度)即時震源決定が行える。

2点のP波到達時刻を満足する曲線



(左) 2観測点(観測点間隔が20km)でのP波到達時刻のみ使用した場合に震源がとりうる範囲。色の濃さはデータの読み取り誤差による広がりを出す。

(右) 上記2点のほかに、周囲4観測点でのP波未到達時刻を取り入れた場合、震央が数km以下の範囲で決まることがわかる。なお、ここで設定した観測点間隔(20km)は、現行のHi-netの平均的な観測点間隔である。

P波到達・未到達データの使用(数式表現)

- 1) P波到達データ: i観測点では、時刻 t_i^P にP波の到達を観測(到達時刻決定)
$$R_i^P = t_i^P - T^{calc}(\phi, \lambda, h) - t_0$$

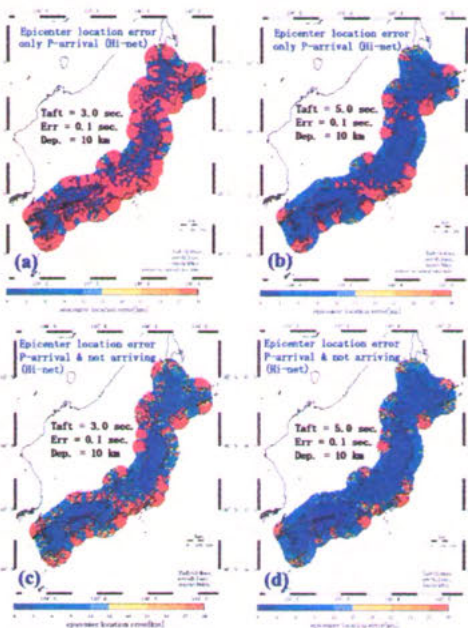
$$T^{calc}(\phi, \lambda, h) = \int_{\phi, \lambda, h}^{t_i^P} \frac{1}{v} ds$$

$$t_0$$
: 震源時刻
- 2) P波未到達データ: i観測点では、時刻 t_i^P にまだP波が到達していない(未到達時刻決定)
$$R_i^N = t_i^N - T^{calc}(\phi, \lambda, h) - t_0$$

$$t_i^N$$
: 未到達時刻
- 3) $\mu^2 = \sum (R_i^P)^2 + \sum (R_i^N)^2$ (ただし μ^2 を最小にする ϕ, λ, h, t_0 をグリッドサーチにより求める

新しい手法の評価と適用(Hi-net)

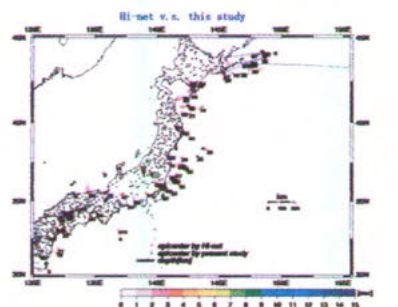
震源の決定精度を評価するため、次の数値実験を行った。



- 1) 日本列島全域に10km間隔に震源を置き、0.1秒の誤差を含む仮想走時データを計算し、最初の観測点にP波が到達してから3-5秒以内のデータを用いて震源決定を行い、場所による決定精度の違いを調べた

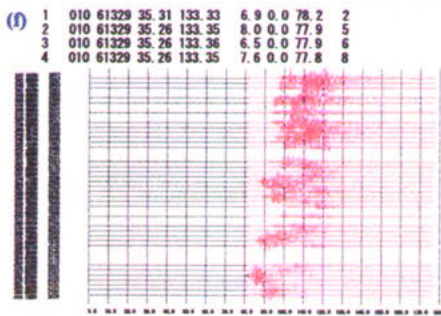
- 2) 過去に発生した約100個の比較的大きな地震を選び、実際の連続データに対し自動処理を行った。観測網近傍では既存の方法に近い震央が3-4秒で得られることがわかる。

(a) 震源位置の誤差(1)と新しい手法による10kmの精度。数字は誤差を示す。マーカーの色は、震源が決定されるまでの経過時間(最初の観測点にP波が到達してから)を示す。



- 3) 過去に発生した地震震源データを用いた即時自動震源決定の例
実際の地震震源データにより観測された地震震源データを、実際の震源位置と速度で再生し、そのデータを利用して、即時震源決定を行なった。

- (1) 震源位置が自動決定されると、震源の深度、規模、深さが表示され、データ表示のメニューから色にも変えられる。同じ、自動震源決定の例であるが、大部分の地震震源エネルギーが観測する前に、震源パラメータが自動決定されている。



(a) 自動震源決定された震源

(b) H=0-500km
2 3223955-N=9026

131E 133E 135E 137E 139E 141E 143E 145E 147E

45N 43N 41N 39N 37N 35N 33N 31N

010 61330 17.8 35.26N 133.35E 8.9 M4.0

堀内茂木他 固体地球研究部門



独立行政法人
防災科学技術研究所

諸外国で用いられている震度と気象庁震度の関係



1. はじめに

米国をはじめとする多くの諸外国では、強震動指標の1つとして改正メルカリ震度を用いている。近年では、この改正メルカリ震度についても計測化がなされている。改正メルカリ震度と気象庁震度(旧方式)の間には、被害に関する記述から設定された対応関係があったが、計測化された震度そのものを比較した試みはなかった。本発表では、強震波形記録を用いて、気象庁計測震度と計測化改正メルカリ震度の比較を行った結果について報告する。

2. 計測化改正メルカリ震度とは

改正メルカリ震度と気象庁震度(旧方式)は、図1に示した関係を持つ。本研究で比較の対象とするのは、Tri-NETで採用されている計測化改正メルカリ震度である。この震度は、図2に示した換算式を用いてPGV(水平成分の最大速度)、PGA(水平成分の最大加速度)から算出される。なお、この方式で求めた改正メルカリ震度は、従来の式に比べると、やや小さな値になることが報告されている。これは最新の被害データに基づき換算式を改訂した影響である。

3. 二つの震度の比較方法

まず、PGA、PGVと気象庁計測震度の回帰式を求める(図3、図4)。これに、図2の換算式を代入すれば、計測化改正メルカリ震度と気象庁計測震度の平均的な関係が求められる。データとしては、K-NET、KIK-NETデータセット中の合計7509記録を用いた。PGV、PGAを算出するにあたっては、Tri-NETで採用されたものと同様のフィルタリングを施している。

4. 結果

図5に、今回計算した気象庁計測震度と計測化メルカリ震度の比較を示す。図中の実線は、回帰式から求められた二つの震度の平均的な関係である。気象庁計測震度5付近での折れ曲がり特徴的である。

5. 既往の関係式との比較

図6に示すように、今回の解析で得られた関係式(線A)を、既往の関係式(線B)と比較したところ、同一の改正メルカリ震度に対する気象庁計測震度は0.5程度大きく見積もることがわかった。比較に用いた関係式は、被害の記述を基にしたTrifunac and Brady (1975)のものである。Tri-NETの方式で求めた改正メルカリ震度は、従来の式に比べると、やや小さな値になることが報告されている。この影響を見るために、図2の1式~4式にかけて、5式、6式を用いて二つの震度の平均的な関係式(線C)を作ったところ、既往の関係とはほぼ一致した。したがって、今回求めた関係式と既往の関係式とのずれは、Tri-NETで採用された改正メルカリ震度の換算式の改訂が主な原因となっていると考えられる。図7には震度階級の形で二つの震度の比較を示した。

6. 議論

図6で明らかになった、既往の関係式と今回の関係式とのずれは、Tri-NETで採用された震度換算式に起因する。この式は比較的新しい被害報告に基づく回帰式である。したがって、建物の耐震性の向上で、既往のより小さい改正メルカリ震度を与える式となったと考えられる。ずれの原因の主な部分が、改正メルカリ震度の換算式改訂の影響で説明できるとすると、気象庁の震度は時代を通して変わっていないことになる。これには、気象庁震度が体感をもとに決定されていたことが関係しているかもしれない。

7. まとめ

Tri-NETで発表されている計測化改正メルカリ震度と気象庁計測震度の比較を強震波形記録に基づき行った。この結果、既往の式とのずれが認められた。したがって、Tri-NETの方式で求められた改正メルカリ震度を気象庁震度に換算するには、既往の式を用いるべきではない。しかし、今回もとめられた関係式をもちいれば、二つの震度の換算を簡単に行うことができる。

図1

(左) 気象庁震度と改正メルカリ震度の比較(地震学: 宇津, より)

(下) 気象庁震度と改正メルカリ震度の比較 (Trifunac and Brady, 1975)

図2

Tri-NETでの改正メルカリ震度の求め方

$$I_{M1} = 3.66 \times \log(PGA) + 5.66 \quad (1)$$

1式で仮の震度 I_{M1} を求める。

$$I_{M1} \text{ が } 7 \text{ 以上の場合, } I_{M2} = 3.47 \times \log(PGV) + 9.29 \quad (2)$$

5以下の場合,

$$I_{M2} = 2.20 \times \log(PGA) + 5.40 \quad (3)$$

5から7の間の場合,

$$I_{M2} = [(I_{M1} - 5) \times I_{M1} + (7 - I_{M1}) \times I_{M3}] \quad (4)$$

を改正メルカリ震度の値とする。

参考: Trifunac and Brady (1975)の換算式

$$I_M = 3.33 \times \log(PGA) + 6.66 \quad (5)$$

$$I_M = 4.00 \times \log(PGV) + 10.52 \quad (6)$$

図3

気象庁計測震度とPGAの比較

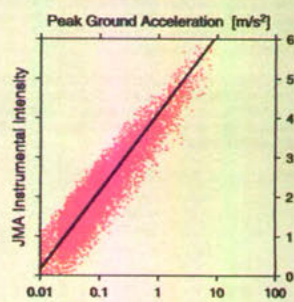


図4

気象庁計測震度とPGVの比較

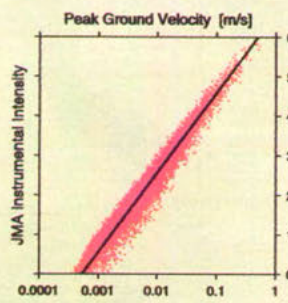


図5

気象庁計測震度と計測化改正メルカリ震度の関係1 (求められた関係式と実データの比較)

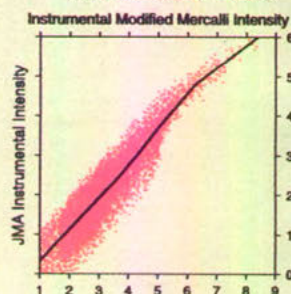


図6

気象庁計測震度と計測化改正メルカリ震度の関係2 (求められた関係式と既往の関係式の比較)

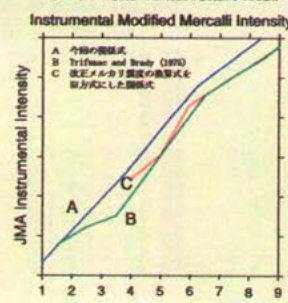


図7

気象庁計測震度と計測化改正メルカリ震度の関係3 (震度階級の形での比較)

気象庁計測震度	0	1	2	3	4	5L	5U	6L	6U	7
改正メルカリ震度 (今回の換算式)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-
改正メルカリ震度 (既往の換算式)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

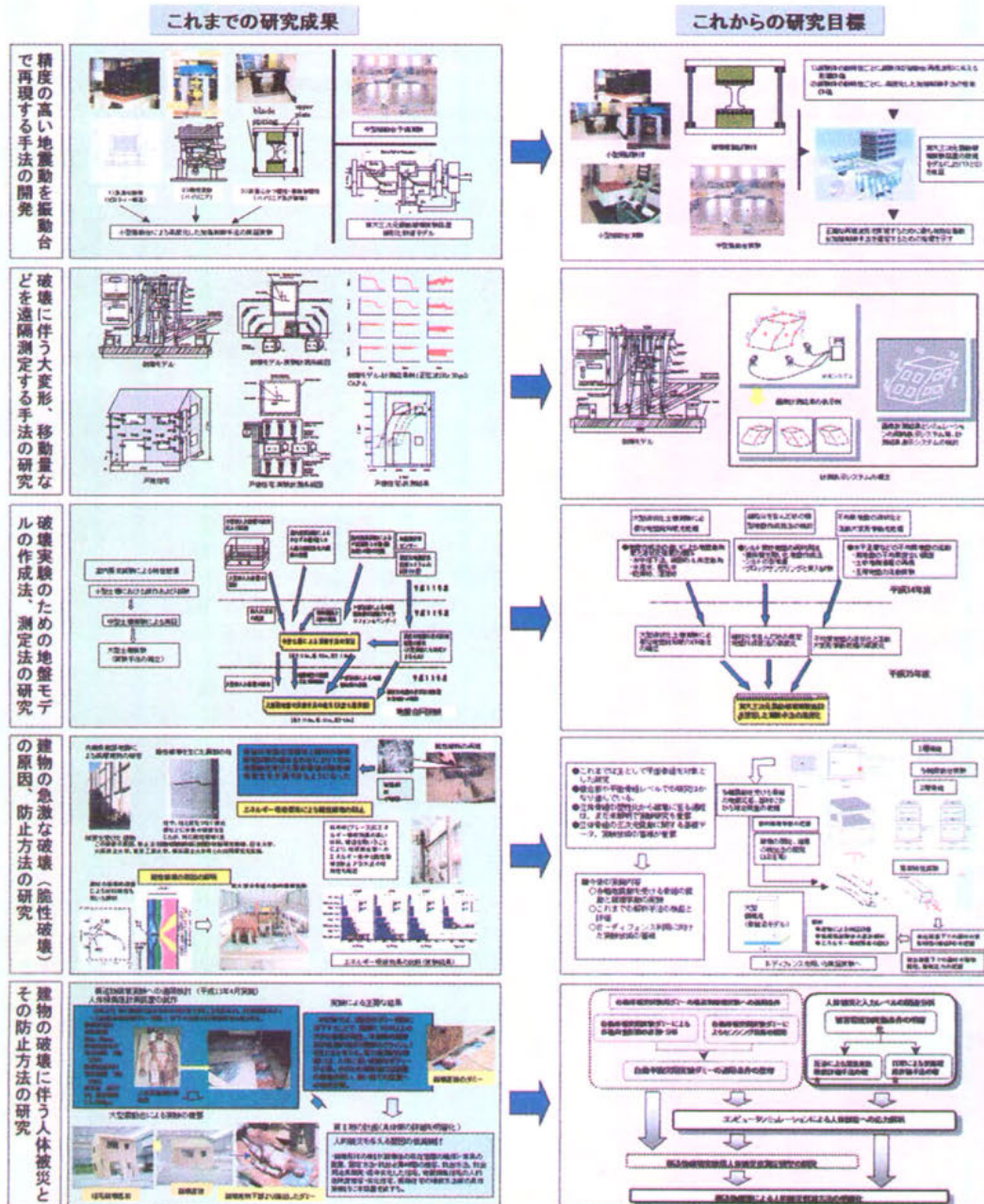
功刀 卓 特別研究員



NIED
National Research Institute for
Earth Science and Disaster Prevention

独立行政法人
防災科学技術研究所

地震による建物などの破壊過程の研究



これらの研究は、E-ディフェンス（実大三次元震動破壊実験施設）を用いた、実大規模の構造物や部材等の破壊メカニズムに関する研究、破壊を防止するためのさまざまな補強法、震動低減法の開発研究に生かされます。

小川信行 他 総合防災研究部門

地震災害軽減のための技術開発

—災害状況の把握、被害の推定、復興過程の監視—

早期被災地推定システム

EDES (Early Damaged Area Estimation System)

- 被災地における中央政府やNPO, NGOによる災害対応活動を支援する目的で、米国空軍の軍事気象衛星 (DMSP) の夜間可視画像を用いた被災地分布の推定手法を提案しています。地震の発生後24時間以内にインターネットにより推定結果を提供しています。現在、より推定精度の高いシステムの開発を行っています。



建物被災度判定トレーニングシステム

DATS (Damage Assessment Training System)

- 地震災害時には、建物の被災度判定結果を判断基準の一つとして、様々な対応が行われます。災害対応の効率化を図るために、被害写真を用いた建物調査のトレーニングシステムを開発しています。



CCDカメラによる復興度自動観測システム

Disaster Process Monitoring Using CCD Camera System

- 復旧・復興状況を示す指標のひとつとして、避難所の状況、建物の撤去や再建などの物理的な環境変化に着目しています。阪神・淡路大震災で被害を受けた神戸市長田区と台湾集集地震で被災した台湾南投縣中寮郷において、CCDカメラによる定点観測を実施し、インターネットにより世界に配信しています。

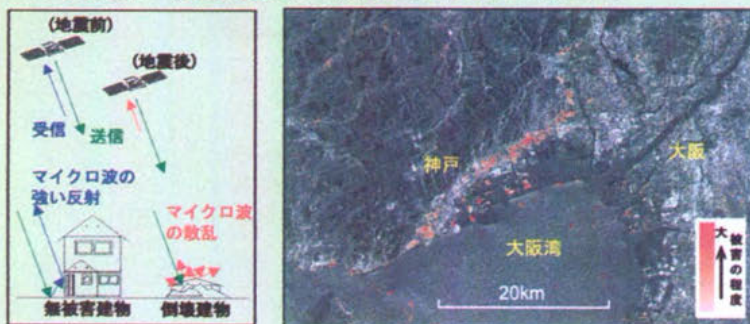
<http://inpaku.dpri.kyoto-u.ac.jp/jp/join/live/index.html>



レーダリモートセンシングによる被害検出

Radar Remote Sensing for Damage Detection

- 昼夜を問わず、雲の影響も受けないマイクロ波によるリモートセンシング技術を大規模災害時の被害推定に応用しています。建物倒壊が著しい地域はマイクロ波の反射の強さが低下することを利用します。地震の前後に得られた人工衛星のレーダ画像の比較から、約800km上空からも阪神・淡路大震災の「震災の帯」が検出できます。

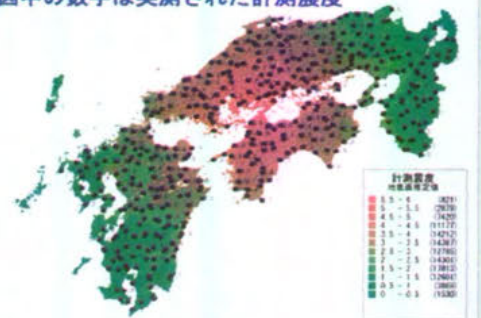


地震動分布の早期推定

Early and Detailed Isoseismal Mapping

- K-NET, KiK-netの観測値と地盤の揺れやすさを考慮した統計的補間により、地震動の空間的分布を推定する手法を提案しています。

2001年芸予地震の推定計測震度分布
図中の数字は実測された計測震度



松岡昌志他 地震防災フロンティア研究センター



独立行政法人
防災科学技術研究所

インド・グジャラート地震災害の ケーススタディ

2001年インド・グジャラート地震では、グジャラート州カッチ地方を中心に極めて甚大な被害が生じました。地震防災フロンティア研究センターでは、この巨大災害における事実を次の地震防災研究に役立てるため、以下の活動を行っています。

災害の把握 (DMSP, LANDSAT, SAR画像, 現地調査) Damage Detection Based on Optical and Radar Images and Field Survey

発生時刻: 2001年1月26日 8時46分 (現地時間)
死者: 2万名 負傷者: 16万6千名
全壊家屋: 37万戸 半壊家屋: 92万戸
被害総額: 6000億円



DMSPによる推定被災地

たとえば, Gandhi Dhamでは・・・



(工学院大学: 久田氏撮影)



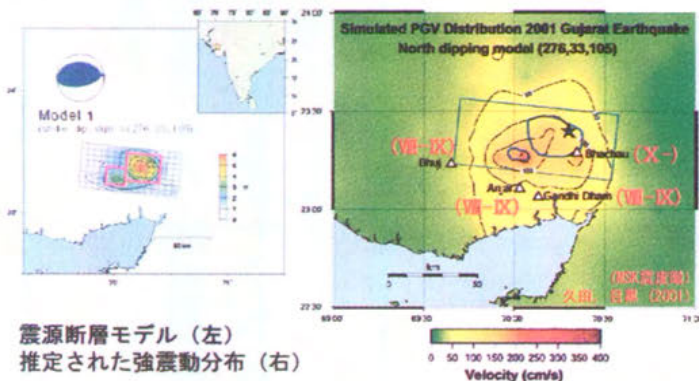
空撮画像 (上)
LANDSATによる推定被災地域 (左: 赤色部)



- 建物被害の差は耐震性能の差により生じた可能性が高い
- 旧市街地では耐震性の強い町づくりがされた
- 新市街地の4階以上の建物に被害が大きい

強震動の推定 Estimation of Strong Ground Motion

被害分布との比較から推定結果を検証し、建物被害のメカニズムを解明し、将来の被害予測・予防手法の開発につなげます。



震源断層モデル (左)
推定された強震動分布 (右)

地震に負けない町への復興 (Patanka村) Disaster Mitigation in Patanka

建物模型の振動実験をととして耐震性向上に関する住民意識を高め、地震に負けない町への復興とそのモデル化を試みます。



建物模型の振動実験

建物耐震化の意識

新井 洋他 地震防災フロンティア研究センター

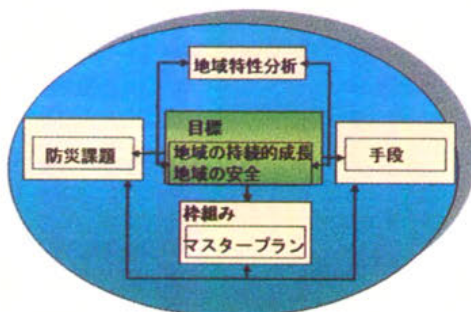
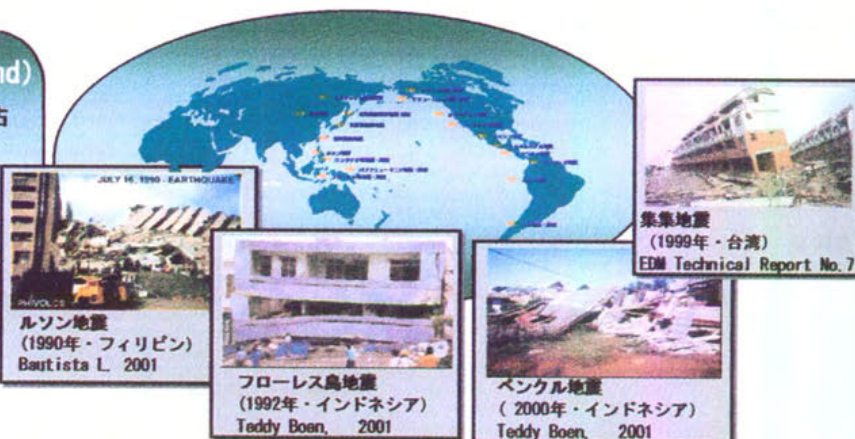


独立行政法人
防災科学技術研究所

アジア・太平洋域の地震・津波 災害抑止戦略のための方法論

1. 課題と背景 (Issues and Background)

アジア・太平洋地域は、世界の地震活動の3割を占める最も活動性が高い環太平洋地震帯に属しており、これまでに地震・津波災害による被害やそれに伴う復興問題が発生してきました。これらの問題に対応するためには、包括的な枠組みとなるマスタープランを構築し、多様な分野の研究、現実に適用可能な研究の統合化を実現する必要があります。



2. EDMのアプローチ (EDM's Approach)

EDMでは、他機関と共同で、「アジア・太平洋地域に適した地震・津波災害軽減技術の開発とその体系化」(EqTAP)プロジェクトを推進しています。第I期(1999年4月から2002年3月まで)は、科学技術の開発、第II期(2002年4月から2004年3月)は、現実への適用に重点をおいています。災害抑止技術の開発、災害危険度評価とその対応システムの開発、災害の地域特性の評価の3つのセクションで得られた研究成果は、マスタープランに統合されます。その枠組みとして、リスクマネジメントフレームワークを採用し、現実社会で検証するため、フィリピンの首都圏を対象としたケーススタディを実施しています。

3. 社会への貢献 (EDM's Contribution to Society)

EqTAPプロジェクトを通して、地震や津波災害に対する意識の向上、防災教育、耐震基準の適用、土地利用計画の改善、危害とリスク分析、学校の耐震診断などを実施し、社会への貢献を目指しています。特にフィリピンのケーススタディにより、対象地域の人々に直接利益をもたらすことが出来る他、そこから得た教訓をその他の地域社会で適用することも可能です。



フィリピン・断層地図
Bautista et. al (2000)



学校の耐震診断



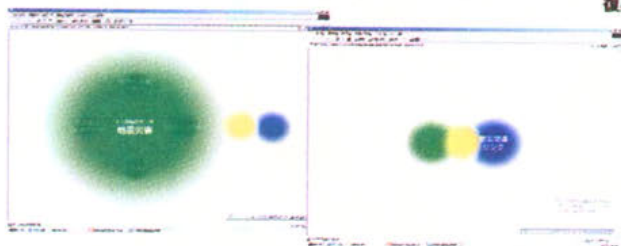
断層周辺の再定住地区



復興住宅(マリキナ市)



マリキナ市防災教育センター



4. 情報発信 (Information Dissemination)

EqTAPプロジェクトの研究成果は、ツールボックスと呼ばれるウェブサイトへ収納される他、ウェブ技術によるフォーラム「デジタルシティ」によって、防災に関わる問題提起・討議・情報収集が行われます。

ラジブ・ショウ他 地震防災フロンティア研究センター



独立行政法人
防災科学技術研究所

最近の富士山の活動

富士山は、1707年の宝永噴火以後、噴火の記録はなく、静穏な状態が続いていますが、歴史的には大きな噴火の記録がある活火山です。富士山の形成は、約8万年前から始まる古富士火山と約1万年前から活動を開始した新富士火山の2つの時期に分けられると考えられています。火山の年齢からは青年期の火山と言えます。

富士山の直下で低周波地震という火山に特有の地震が発生していることが、1980年代はじめにわかりました。このため防災科学技術研究所では富士山周辺で地震や傾斜変動の観測を強化し、富士山の地下の火山活動を調べています。低周波地震は地下15km付近で発生し、深部のマグマ活動と関係していると考えられています。

2000年10月から2001年5月にかけて、この低周波地震活動が活発化しました。マグマの上昇を示す地殻変動や地震活動は観測されていないので、地下深部での火山活動が活発化したためと考えられます。



富士山の噴火史

富士山には、歴史上3回の大噴火の記録があります。
 ・900-802年（延暦噴火）
 ・854-866年（貞観噴火）
 ・1707年（宝永噴火）
 宝永噴火は東海地震（宝永地震、1707年10月28日）の49日後に発生しました。

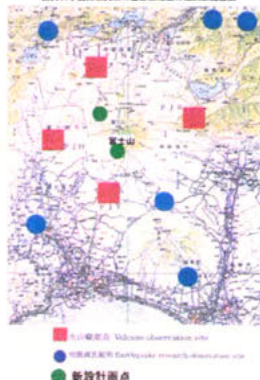
富士山の噴火と関東・東海の大地震



富士山の観測点

防災科学技術研究所では富士山の火山活動を把握するため、山頂から約10kmの地点4カ所に火山活動観測施設を設置しています。火山活動観測施設には、地震計と傾斜計が深さ200mの観測井に設置されています。

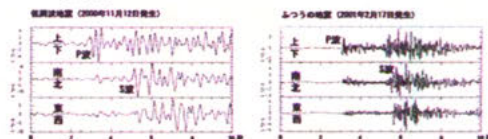
防災科学技術研究所の富士山周辺の観測点配置図



低周波地震とふつうの地震の比較

3成分地震計で捉えられた振動の様子

富士山で発生する低周波地震の振動は、大きいものでもマグニチュード2クラスの微小地震です。ふつうの微小地震では、振動数が10-20Hz程度の地震波が観測されますが、低周波地震では1-5Hzの地震波が大きく観測されます。

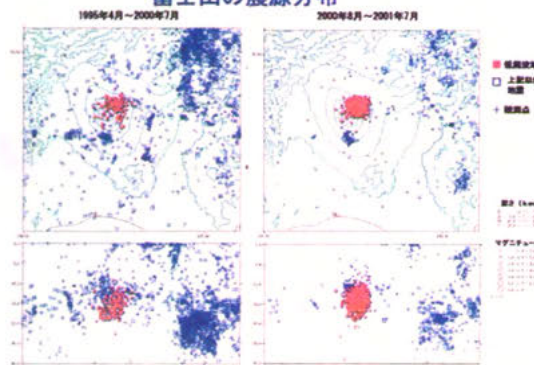


連続発生する低周波地震

2000年12月18日にJF観測点で記録された低周波地震の様子
 1時間の連続記録

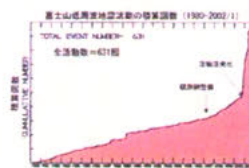
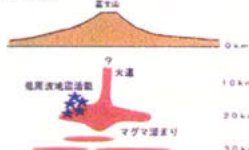


富士山の震源分布



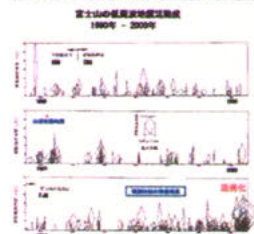
富士山の地下の様子

低周波地震は富士山のマグマ活動と関連して発生していると考えられますが、具体的な発生機構はまだ未解決で、今後の課題になっています。



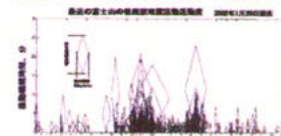
1980年からの低周波地震活動の様子

1980年から2000年の低周波地震活動を波形で表しました。波形の高さは、低周波地震が連続的に発生し、連続した振動が観測された時間。波形の幅は、観測された低周波地震の最大振幅。



低周波地震が頻発した2000年10月～2001年5月

2000年10月から2000年12月にかけて低周波地震活動が高まりました。2001年4月と5月も活発な活動が観測されました。2001年6月以降は通常のレベルの活動です。



低周波地震活動の観測回数
 2000年後半から2001年前半に急増した活動がわかる。

鵜川元雄 固体地球研究部門



独立行政法人
 防災科学技術研究所

航空機搭載型マルチスペクトル スキャナによる火山観測

—空から火山活動を監視する技術—

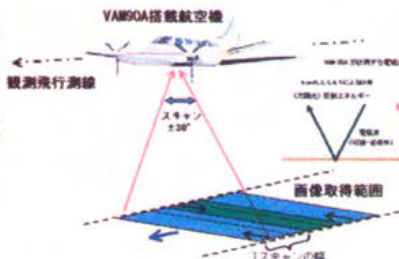
1. 防災科研の航空機搭載型マルチスペクトルスキャナ：火山専用空中赤外映像装置 VAM-90A

防災科学技術研究所は、航空機搭載型マルチスペクトルスキャナである火山専用空中赤外映像装置：VAM-90Aを開発・製作し、平成3年度より、火山体表面温度の観測・監視を目的とした運用を継続している。

VAM-90Aは、地表面から航空機に到達する光の分光放射度を計測する。計測対象領域は、可視近赤外線域（太陽光の反射エネルギー）と赤外線域（物体の赤外放射エネルギー）に大別される。

VAM-90Aは、航空機の飛行方向と直行する方向に回転鏡を走査（スキャン）し、地上の画像情報を取得する。1回の飛行観測で、約10km × 数kmの範囲の画像が取得できる。

VAM-90Aは、対象を離れた所から観測できるため災害時の地表の状況把握手法として有用である。



観測飛行の模式図



航空機内のVAM-90A（上：制御監視ユニット、下：走査検出器ユニット）

VAM90A System Parameters			
Spectral channel	9		
Field of view (FOV)	±30° (vertical) ±25° (side-looking) 2.5km (NAR) 1.5km (BR)		
Instantaneous FOV (IFOV)	1.5mrad (NAR) 1.5mrad (BR)		
Spectral resolution	14bit		
Quantization	14bit		
Measured/Brightness Temperature precision	±1°C (40~10°C) ±1.5°C (10~100°C)		
Spectral Channels			
Subsystem	Band No.	Spectral Range	Brightness Temperature Range
VIR (visible to near infrared)	1	0.51~0.59 μm	—
	2	0.61~0.68 μm	—
	3	0.80~1.10 μm	—
	4	1.10~1.75 μm	—
	5	2.10~2.30 μm	—
TIR (thermal infrared)	6	3.30~4.30 μm	10~1500
	7	4.30~5.50 μm	10~1500
	8	8.00~11.00 μm	20~250
	9	11.00~13.00 μm	20~250

2. 有珠山2000年噴火災害の多時期観測

2. 1 観測の概要

防災科学技術研究所は、有珠山2000年噴火の推移を、VAM-90Aによる地表の可視・近赤外線、輝度温度画像として、多時期にわたり観測した。観測は、2000年4月から同年10月にかけての約1ヶ月毎に8回行った。ここでは、今回の噴火活動で有珠山周辺にあらに出現した金比羅山火口群と西山火口群に関する観測結果を報告する。

2. 2 観測・解析領域

金比羅山火口群と西山火口群に関する観測・解析領域を下図に示す。この領域は、毎回の観測で取得された画像の一部で、2.4km × 3.5kmの範囲である。



観測飛行コースと解析領域

2. 3 地形図と観測画像の重ね合わせ

今回の観測の観測画像は地形や航空機の動揺の影響による歪を極力小さくするよう幾何補正した（可視近赤外線画像の解像度は1画素6m）。その結果、観測画像と地形図との重ね合わせにおけるずれは、最大でも4画素以内で、災害状況の地理的位置情報が把握できた（下図）。

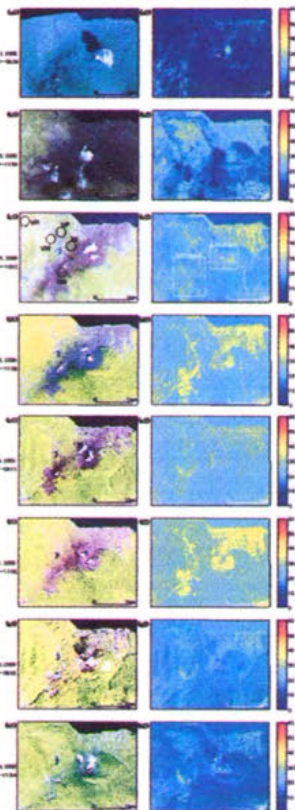


地形図と観測画像の重ね合わせ

2. 4 噴火活動の推移

金比羅山火口群と西山火口群に関する各回の観測結果を下図に示した。左列は、可視近赤外線画像の合成カラー画像表示である（R:band4/G:band3/B:band2）。右列はカラースケールで表現した地表面の輝度温度画像である。

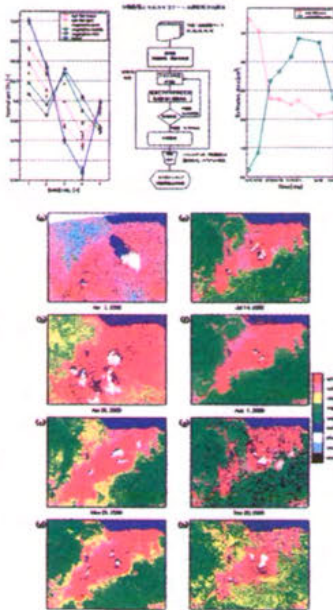
可視近赤外線画像の解析から噴火活動に伴う、降灰地域のスペクトルの同定が可能で、その面積推定ができた（2.5参照）。輝度温度画像からは、火口の温度状況の把握と、日射や季節変動に起因する輝度温度分布の特徴をとらえることができた（2.6参照）。



噴火活動の推移（可視近赤外線画像と輝度温度画像）

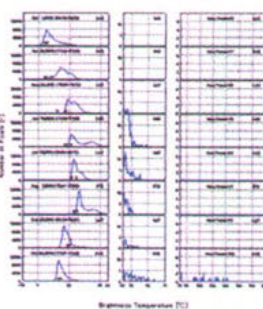
2. 5 降灰地域の把握

～可視近赤画像の解析結果



2. 6 地表面温度の把握

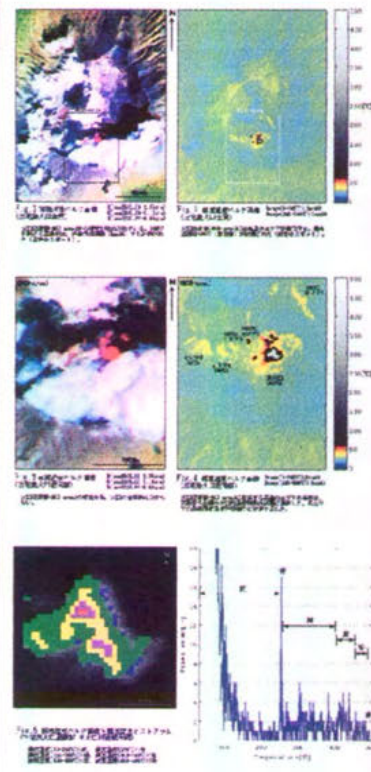
～赤外線画像の解析結果



3. 三宅島噴火口の観測

防災科学技術研究所では、三宅島の噴火口の輝度温度分布を把握するために、VAM-90Aによる観測を行っている。ここでは、2001年9月12日に実施した観測結果を報告する。

下図は三宅島の火口を観測した画像である。推定された最高の輝度温度は火口内の主火口付近で494°Cであった。これは、これまで計測された最高輝度温度188°C（2000年9月22日）より300°C程高い値であった。この理由として、今回は噴煙の影響が少ない状況で火口を観測できたこと、および、これまでの継続的な地熱供給によって火口内の高温域の面積が拡大したこと等が考えられる。



實測哲也 防災基盤科学技術研究部門

マルチパラメータレーダを用いた 雲や雨の観測

— 雲を観る新しい技術と雨・風情報のリアルタイム提供 —

防災科学技術研究部門では2000年に雲や雨を観測するためのマルチパラメータレーダ（MPレーダ）システムを完成しました。試験運用、アルミ金属球による検証実験を経て今年2001年から本格的な研究を開始しました。私達の研究の目的は災害をもたらすような激しい大気現象の仕組みを明らかにし、それらの発生を予測する数値モデルを作ることです。このポスターでは、2001年に関東地方でおこなった観測について紹介しています。

観測の概要



図1 雲・雨観測のためのMPレーダ観測装置。MPレーダシステムは高さ30mのMPレーダと高さ約40mの2nd MPレーダの2つの観測装置があり、2つのアンテナに接続されています。レーダは、MPレーダの中心に設置されたアルミ金属球の周囲を回転しながら観測を行います。また、レーダの周囲には、風速・風向観測装置や、降水観測装置が設置されています。

レーダ観測範囲

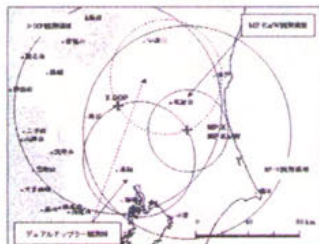


図2 レーダの観測範囲と観測装置。2つの観測装置（MPレーダと2nd MPレーダ）は、それぞれ異なる高度から観測を行います。MPレーダは、高度約30mから観測を行い、2nd MPレーダは、高度約40mから観測を行います。このように、2つの観測装置を組み合わせることで、より広範囲の観測が可能となります。

速報3：台風のリアルタイム観測

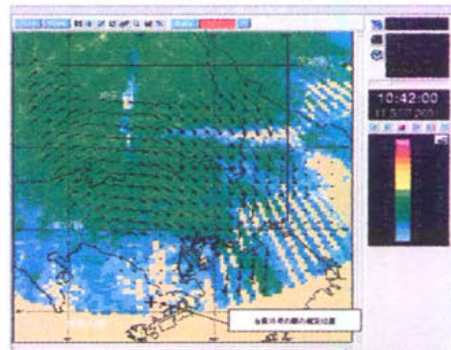


図3 2つのMPレーダによる観測から、台風の位置・強度・移動方向をリアルタイムで観測することができます。図は2001年9月1日の観測結果を示しています。台風の中心は、関東地方の東部付近に位置しています。台風の強度は、中心付近で最も強く、周辺に向かって徐々に弱くなります。台風の移動方向は、北西方向に向かっています。

速報4：偏波レーダによる降雨量の測定

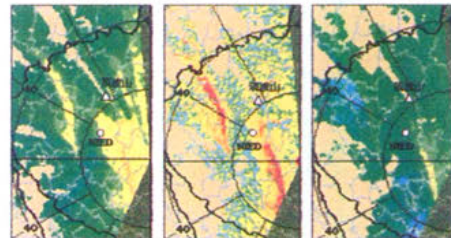


図4 MPレーダの偏波レーダ機能を用いて、降雨量の測定を行います。偏波レーダは、電波の偏波状態から降雨量の測定が可能です。図は、2001年9月1日の観測結果を示しています。降雨量は、中心付近で最も多く、周辺に向かって徐々に少なくなります。

速報1：巻雲、巻層雲、高層雲の鉛直断面



図5 レーダから観測された雲の鉛直断面。図は2001年9月1日の観測結果を示しています。雲の鉛直断面は、中心付近で最も高く、周辺に向かって徐々に低くなります。

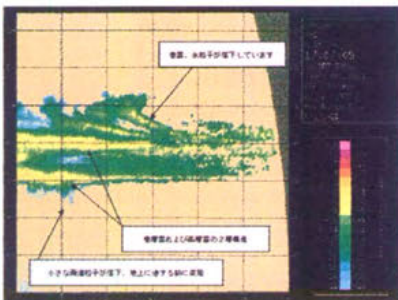


図6 MPレーダの観測結果から、雲の鉛直断面を観測することができます。図は、2001年9月1日の観測結果を示しています。雲の鉛直断面は、中心付近で最も高く、周辺に向かって徐々に低くなります。

速報2：台風の中の小さな渦巻擾乱

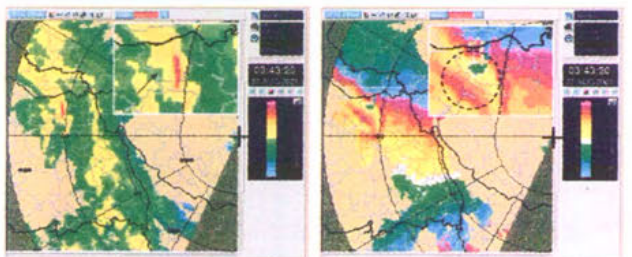


図7 台風の中の小さな渦巻擾乱の観測。図は、2001年9月1日の観測結果を示しています。渦巻擾乱は、中心付近で最も強く、周辺に向かって徐々に弱くなります。図は、2つのMPレーダによる観測結果を示しています。2つのMPレーダは、それぞれ異なる高度から観測を行います。MPレーダは、高度約30mから観測を行い、2nd MPレーダは、高度約40mから観測を行います。このように、2つの観測装置を組み合わせることで、より広範囲の観測が可能となります。

共同研究

レーダ情報のインターネットでの公開

図8 共同研究によるレーダ情報のインターネットでの公開。図は、2001年9月1日の観測結果を示しています。レーダ情報は、インターネット上で公開されています。図は、共同研究によるレーダ情報のインターネットでの公開の様子を示しています。図は、共同研究によるレーダ情報のインターネットでの公開の様子を示しています。



観測風景



図9 MPレーダのアンテナ部分。図は、2001年9月1日の観測結果を示しています。アンテナ部分は、中心付近で最も高く、周辺に向かって徐々に低くなります。



図10 MPレーダのアンテナ部分。図は、2001年9月1日の観測結果を示しています。アンテナ部分は、中心付近で最も高く、周辺に向かって徐々に低くなります。

真木雅之 防災基盤科学技術研究部門



独立行政法人
防災科学技術研究所

平成12年9月東海豪雨における河川の洪水流出

研究内容

近年、都市下水道や中小河川の雨水排除整備基準を越える豪雨が各地で観測され、新宿区や福岡市で地下室の浸水による溺死事故が出るなど、計画規模を越えた豪雨に対する低平な都市での総合的な被害軽減策が強く求められるようになった。ここでは記録的な豪雨がもたらされた場合の中小河川における洪水予測の可能性に焦点を当て、東海豪雨を事例として、国、県、市町村の高密度の観測網の10分雨量データを用いて、14の中小河川流域の豪雨に対する洪水流出の実態を明らかにすると共に、簡単な手法による中小河川の洪水予測の可能性を検討した。

東海豪雨の概要

2000年9月11日から12日にかけて、西日本を覆っていた秋雨前線に台風14号からの暖かく湿った多量の空気が長時間流れ込み、東海地方に記録的な豪雨をもたらした。名古屋地方気象台や東海市では最大時間雨量97mm及び114mm、最大日雨量428mm及び492mmをそれぞれ記録した。このため愛知県では死者7名、全半壊家屋142棟、床上浸水23,896棟、床下浸水39,544棟が発生し、特に名古屋市の被害は死者4名、全半壊家屋102棟、床上浸水9,818棟、床下浸水21,852棟に上った。

解析地域の概要

流出解析は豪雨が観測された名古屋市、大府市、半田市等の地域に分布する14の中小河川流域で実施した。雨量は名古屋市及び愛知県の31地点の高密度の観測地点の10分雨量を用いた。それらの水位観測地点及び雨量観測地点の位置を図4に、解析地域の標高分布を図5に示している。また、各流域の河川水位及び各種継続時間の流域平均最大雨量を表1に示す。表には水防団が出勤して水防活動に当たる基準となる第三基準水位と河川が越水・破堤等危険な状態になる計画高水位の発生時刻も示した。その差はおおよそ30分から1時間であった。流出解析は移動平均降雨水位推定法及びタンクモデルを使用した。移動平均降雨水位推定法とは次式に示すように、洪水到達時間内の平均降雨強度に到達時間流出率と流域面積を掛けて河川流量を計算し、水位・流量関係式を用いて河川流量から河川水位を推定する手法をいう。

$$Q(t) = f(t) \times R(t) \times A \times (1000/60) \quad (1)$$

$$R(t) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t r(t) dt \quad (2)$$

$$H(t) = \sqrt{Q(t)/a+b} \quad (3)$$

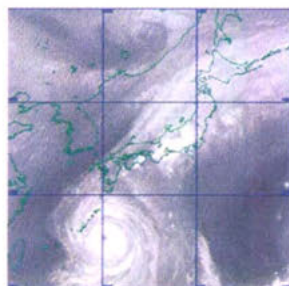


図1 気象衛星水蒸気チャンネル画像 (提供：気象庁、2000)。



図2 東海豪雨の東海地域の総雨量分布 (編集：愛知県、2000)。



図3 東海豪雨による東海地域の浸水区域実況図 (編集：愛知県2000)。



図4 解析に使用した水位観測地点及び雨量観測地点の位置図。

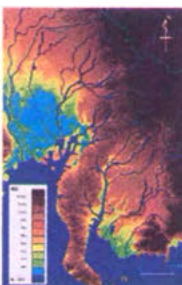


図5 東海地域の標高分布図

表1 解析流域の河川水位観測

河川名	観測地点	観測時刻	観測水位 (m)	計画高水位 (m)	第三基準水位 (m)
小牧川	小牧川	9/11 18:00	10.15	10.25	10.10
		9/12 00:00	10.15	10.25	10.10
大府川	大府川	9/11 18:00	10.15	10.25	10.10
		9/12 00:00	10.15	10.25	10.10
半田川	半田川	9/11 18:00	10.15	10.25	10.10
		9/12 00:00	10.15	10.25	10.10
津島川	津島川	9/11 18:00	10.15	10.25	10.10
		9/12 00:00	10.15	10.25	10.10
長久保川	長久保川	9/11 18:00	10.15	10.25	10.10
		9/12 00:00	10.15	10.25	10.10
大府川	大府川	9/11 18:00	10.15	10.25	10.10
		9/12 00:00	10.15	10.25	10.10
半田川	半田川	9/11 18:00	10.15	10.25	10.10
		9/12 00:00	10.15	10.25	10.10
津島川	津島川	9/11 18:00	10.15	10.25	10.10
		9/12 00:00	10.15	10.25	10.10
長久保川	長久保川	9/11 18:00	10.15	10.25	10.10
		9/12 00:00	10.15	10.25	10.10

※ 観測水位は河川水位観測点の水位であり、計画高水位は河川水位観測点の水位に計画高水位係数を乗じた値を示す。

河川水位推定結果

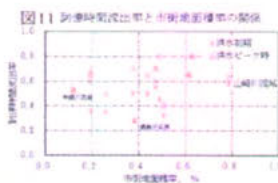
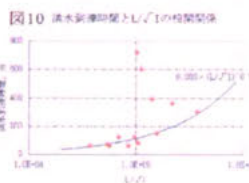
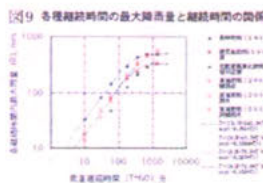
移動平均降雨水位推定法は市街化が進んでいるところでは簡易な河川水位の推定法として使用が可能であり、図6に市街地の占める面積率が流域の63%である植田川の事例を示す。60分で移動平均した平均雨量に流域面積と到達時間流出率0.8を掛けて流量を計算し、水位・流量関係式で河川水位に変換した。図7は河川沿いに自然遊水池機能を有する多くの水田が広がる中小河川の境川水系連発川のタンクモデルによる河川水位の推定結果である。河川沿いの低平地に雨水が一時的に集まり、ゆっくりと河川に流出する現象を上手く推定している。図8は感潮河川区間の天白川支流扇川の鳴海地点の洪水水位推定結果である。この観測点は低水時に潮位の影響を受けることから、タンクモデルにより推定した洪水水位が天文潮位の推定値(名古屋港の潮位+15cm)より低い場合は天文潮位推定値を推定河川水位とした。洪水水位の推定結果は図に示すように、洪水ピークおよび洪水の低減状況を良好に推定している。特に、低水部の潮位が影響する部分は名古屋港の潮位を用いて良好に推定できた。

$$H(t) = \frac{H_1 + H_2}{2} + \frac{H_1 - H_2}{2} \times \frac{t - T_1}{T_2 - T_1} \quad (4)$$

ここで、 H_1 は天文潮位の推定値、 H_2 は天文潮位の推定値+15cmの推定値、 T_1 は天文潮位の推定値+15cmの推定値が観測された時刻、 T_2 は天文潮位の推定値が観測された時刻を示す。

得られた成果

- (1) 東海豪雨の降雨規模は1993年8月の鹿児島豪雨災害時のものと類似し、各種継続時間に対する最大降雨量はおおよそ2.4時間最大雨量と6.0分最大雨量で特徴付けられる(図9)。
- (2) 東海豪雨では4河川を除いて洪水到達時間は $(L/\sqrt{I})^{0.7}$ に比例することが分かった。これは土木研究所の経験式に沿うものであるが、分単位のプロット定数は東海豪雨では0.036であった(図10)。
- (3) 東海豪雨における洪水初期及び洪水ピーク時の到達時間流出率と市街地面積率の関係が得られた。図11に示すように市街地面積率が大きい場合は両時期の到達時間流出率は変化が小さいが、市街地面積率が低い地域では降雨が長く続く場合の洪水ピーク時には到達時間流出率は大きな。郊外の普及洪水流出の少ない地域でも大雨が長く続くと大きな洪水になるので注意が必要である。



中根和郎 総合防災研究部門



独立行政法人
防災科学技術研究所

「地すべり地形分布図」の多面的活用

1. 地すべり地形分布図の発行

防災科学技術研究所では、地すべり研究の一環として空中写真判読によって作成した地すべり地形分布図の刊行を1982年より進めてきた。



図1 地すべり地形分布図とその凡例

空中写真の実体視判読 → 所定の凡例で地すべり地形を図示する

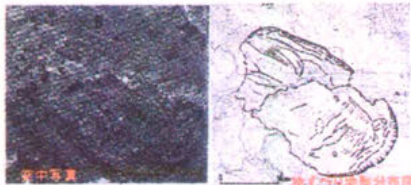


図2 熟練した地形研究者による実体視判読の一例

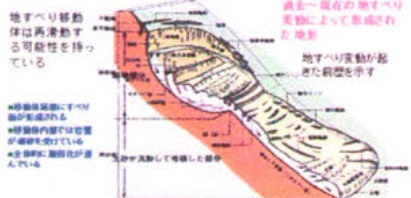


図3 地すべり地形の模式図

2. 防災科研の地すべり地形分布図の特長

- 同一の判読基準・凡例で広域を刊行している
- 地すべり地形を実形で表示している
- 滑落崖と移動体を区別して図示している
- 初期段階の地すべり変動地形も判読・図示
- 滑落崖の解析程度を判読・図示している
- 地すべり地形相互間の関係を明示

実績——地すべり発生場所を予測(澄川地すべり)



図4 地すべり発生場所を予測した澄川温泉地すべり

3. 地すべり地形分布図の数値化の推進

地すべり地形を数値化する目的

- 地すべり地形情報を電算機上で処理できるようにする(人間の得意な分野と計算機の得意な分野の分業)
- 地すべり地形分布図の利用の拡大
- より多様な利用法・表現法の開発
- ハザードマップ化の前ステップ

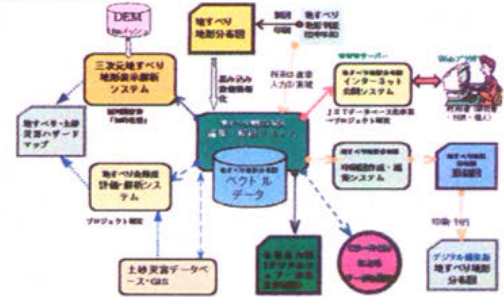


図5 地すべり地形分布図に関する研究開発の全体構想

4. 各種解析システムとインターネット公開の推進



図6 地すべり地形編集解析システム(ワークステーション)



図8 三次元地すべり地形表示・解析システム(ワークステーション)

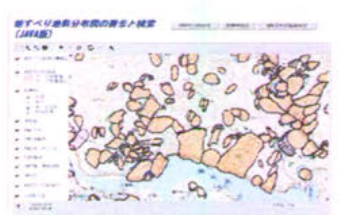


図7 地すべり地形分布図のインターネット公開(URL: <http://lswb1.ess.bosai.go.jp/>)

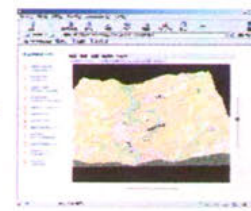


図9 三次元地すべり地形のインターネット公開(<http://lswb1.ess.bosai.go.jp/jisuberi/web3d/webDL.html>)

5. 各種出力図の作成とデータ利用研究



図10 余色立体視地すべり地形分布図



図11 デジタル地すべり地形出力図

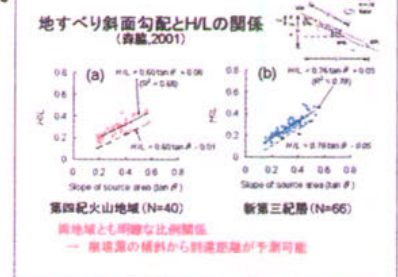


図12 地すべり地形分布図の発行計画

井口 隆 総合防災研究部門



独立行政法人
防災科学技術研究所

日本の積雪地域の気候的な特徴と近年の変化

はじめに

我が国では1980年代後半から比較的温暖な冬が続いている。また、世界的にも1990年代は今世紀で最も温暖な10年間と言われている。このような気候の変化は雪国にどのような影響を与えたのだろうか。それは冬の災害の発生頻度や種類とも関わっていたはずである。また、この期間は温暖化した場合の雪国の環境の変化を知る上でも貴重な参考を与えてくれたのではないだろうか。

折しも昨年、1971から2000年までの気象観測をもとにした新平年値が発表された。新平年値の統計期間のおよそ半分は上に述べた温暖な期間を含んでいる。そこで、日本の積雪地域がもつ気候的な特徴を考慮しながら、新しい平年値とその前の旧平年値（1961～1990年）とを比較することによって、冬の気候変化、この場合は温暖な方向への変化が積雪地域にどのような変化をもたらしていたかを検討した。ここでは、その結果の概要を紹介する。

なお、ここで対象としたのは積雪地域にある気象官署の平年値である。

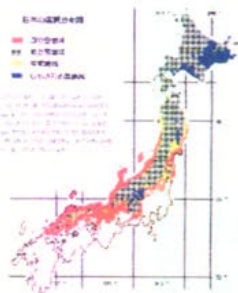
謝辞 ここでは次の気象庁監修のデータ集を使用しました。感謝申し上げます。
気象庁観測平年値（含むメッシュ統計値）CD-ROM, 1996.
平年値CD-ROM 期間1971～2000年, 2001.

積雪地域をどのような観点でみるか

一般に積雪地域は、最深積雪などで分けたり、あるいは北海道、東北、北陸など地域で区分したりすることが行われているが、同じ地域でも標高の違いによって積雪の性質が異なり、このような区分では積雪地帯を総合的にとらえることは困難である。そこで、筆者は日本の積雪地域をその地域の積雪の特徴を考慮して区分する下表の気候区分を提案している。

大きくは、最寒月1月の気温によって、厳冬期でも積雪が溶れていることが多い湿り雪地域と厳冬期は乾いている乾き雪地域およびその中間地域に分け、さらに乾き雪地域は、寒冷で積雪の少ない地域に発達する「しもがらめ雪」を特徴とするしもがらめ雪地域とそれ以外に分ける、というものである。ここでは、湿り雪地域と中間地域を温暖積雪地域、乾き雪地域としもがらめ雪地域を寒冷積雪地域としてあつかっている。

このような日本の積雪地域の気候的な特徴を考慮することによって、気候変化の影響をより明確にすることが可能である。

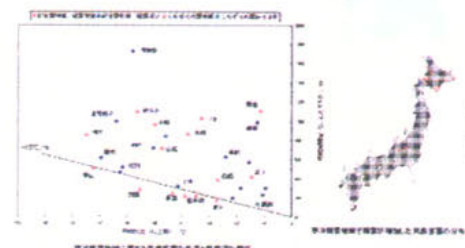


新平年値の比較から得られた気候変化の特徴

- ・ほぼ全地点での気温の上昇、したがって相対的に温暖な気候区分への移行および無積雪地域の増加がみられる。
- ・温度上昇は全地点の平均でおよそ0.4℃（1, 2月の平均気温）である。
- ・気温が上昇していてもすべての地域で積雪が減少しているわけではない。
- ・顕著な積雪の減少がみられるのは、温暖積雪地域の中で比較的積雪の多い北陸の沿岸部である。
- ・気温上昇にもかかわらず積雪が増加した地点は、寒冷積雪地域では北海道や本州中部の高標高地点である。
- ・温暖積雪地域では、本来積雪の少ない太平洋側の多くの地点で気温上昇にもかかわらず積雪の増加が生じている。

なお、無積雪地域を1, 2月の平均気温で6℃以上の地域としているが、気温の上昇によって無積雪地域に移行したのは、東京など5地点であった。

寒冷積雪地域の変化

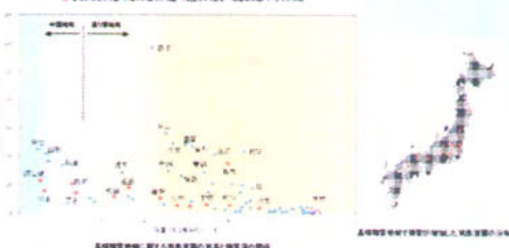


しもがらめ雪地域 旧平年値では、帯広、網走など7地点がこの区分に属していたが、この地点の平均気温（1, 2月平均）は、約0.4℃上昇した。その結果、帯広がしもがらめ雪地域から、乾き雪地域になった。この地域の変化の特徴は帯広を除く他の地域のすべてで月最深積雪（1, 2月の平均）がわずかに増えていることである。ただし、同期間の降水量はどの地点でも減少している。すなわち、集中した降雪による積雪量の増加が吸収される。

乾き雪地域 気温は新庄を除くすべての地点で上昇、その幅は0.2～0.8℃、平均で0.4℃の上昇である。積雪は全体として減少傾向ではあるが、旭川、札幌、羽根、小樽など北海道の西部地域と広島や徳島などのしもがらめ雪地域に隣接する地域や本州の高山などで増加している。

なお、新庄では-0.5℃の気温低下がみられたが、移転の影響で旧気候値の期間が6年であり比較するのが適当でないという事情であった。

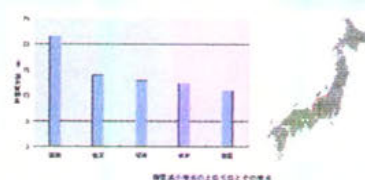
温暖積雪地域の変化



中間地域と湿り雪地域 気温はすべての地点で上昇、その幅は0.2～0.4℃である。旧平年値で中間地域に属する地点が、気温上昇で気温の高い湿り雪地域へ移行した気象官署はなかったが、新たに乾き雪地域からこの地域へ移行した地点に長野、河口湖、若松の3地点がある。積雪は多くの地点で減少しているが、積雪の増加した地点もあり、それはグラフから本来積雪の少ない地域であることがわかる。同時にまた分布図から、これらの地域はおおむね太平洋側の地域であることがわかる。すなわち、日本海側の積雪地域での積雪の減少と太平洋側での増加である。これは、温暖な冬に特徴的である。寒気の南下の弱まりにともなう気圧配置の減少と移転性気圧による太平洋側降雪の増加に対応していると考えられる。

なお、鳥取は日本海側にある唯一の積雪増加地域であるが、鳥取の旧平年値の期間は14年であり、他に比べ短いという事情が影響している可能性がある。

積雪が減少した地点ベスト5



積雪が減少する気象官署で最も大きいのは高田の22cm。次に金沢14cm（移転の影響もある）そして津市、伏木の13cm、大津11cmである。積雪減少地点が北陸の沿岸地域に顕著に現れている。

なぜ、北陸の多雪地域で積雪の減少が大きいのか？
それは、気温と降水量が積雪の上限を決めるからである。

$$\text{上限の式} \quad H S < 0.003 R (2 - T/3) \quad \dots (1)$$

HS (mm) 月最深積雪、T (℃) 月平均気温、R (mm) 月降水量、1/3は1月、2/3は2月

なぜ、北陸の多雪地域で積雪の減少が大きいのか？ 気温と降水量から決まる積雪の上限

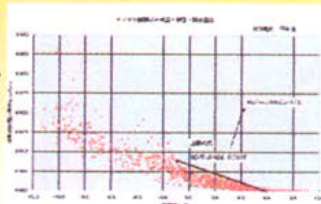
積雪地域のアメダス観測点を調べると、気温と降水量に対する積雪深の比（降水のうちどれくらいが積雪に寄与するか）の関係は右図のようになる。これから、次のことがわかる。

約-1℃より気温が高いところは（乾き雪と中間地域から湿り雪地域にかけて）次の式で表される上限がある。

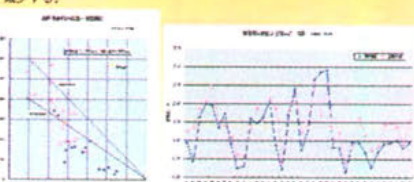
$$H S < 0.003 R (2 - T/3) \quad \dots (1)$$

ここで、HS (mm) 月最深積雪、T (℃) 月平均気温、R (mm) 月降水量を（いずれも、1, 2月平均）である。

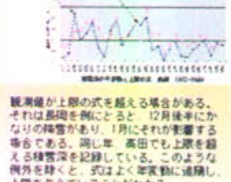
北陸の積雪地域は多くはこの上限付近に位置し、降水量が変化なくても気温に大きく左右されることになる。



ある特定の地域の積雪・気温関係が上限の式とどのように関わっているかを見るために高田の例を示す。高田は気象官署の中では冬季の降水量が極めて多く、積雪の上限は気温の上昇とともに大きく減少する。



観測値が上限の式を超える場合がある。それは長岡を例にとると、12月後半にかなりの降雪があり、1月にそれが影響する。同様に、高田でも上限を超える積雪深を記録している。このような例外を避けて、式はよく年平均値に適用し、上限を考えていることがわかる。



石坂雅昭 雪氷防災研究部門

雪雲の山越えによる降雪集中のしくみ



写真1 山形県北部の地形と雪雲。

1. はじめに

降雪分布は地域的な変動が大きく、豪雪地帯として知られているところは内陸山地に多い。一方、雪雲は日本海から上陸したところで海面からの熱と水蒸気の供給を絶たれるため、上陸後は次第に衰えていく。では、降雪が内陸で多くなるのはなぜなのか、また、どのような場合にどこで降雪が集中するのだろうか。これは気象学のみならず、吹雪、雪崩などの災害予測のインプットとしても解決すべき問題である。

降雪の集中するしくみを知るためには、ドップラーレーダーを用いた降雪分布と風速分布の観測が有力な手段である。ここでは、山形県北部を研究対象としてドップラーレーダーデータを解析した結果を示す。研究対象地域の地形と雪雲とを写真1に示す。

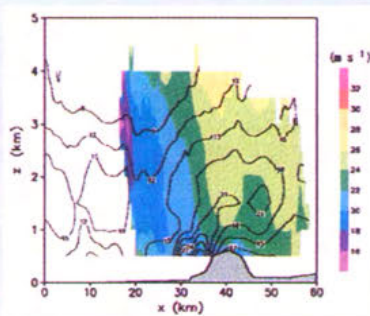


図3 出羽丘陵を横切る東西の鉛直断面。等高線が降雪強度(色分け)と出羽丘陵に垂直な風速を示す。丘陵風上側では左側のドップラーレーダー観測による。横軸は水平距離でx=130kmより左が日本海。縦軸は高度。

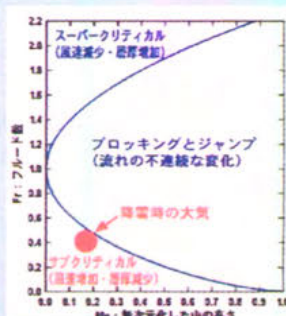


図2 浅水理論による流れの状態。FrとMcによって異なる流れが現れる。

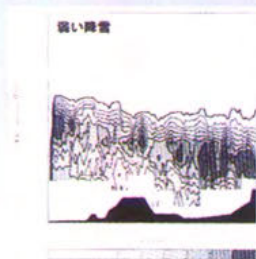


図5 出羽丘陵(図中央付近)の(a)弱い降雪と(b)強い降雪の出現頻度分布。横軸は降雪雲の移動方向に沿った距離で、出羽丘陵の左側が風上の庄内平野。右側が風下の新庄盆地。縦軸は高度。

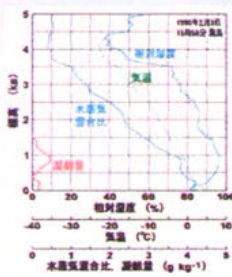


図4 対流混合層の気温、相対湿度、水蒸気量比、凝結量。

2. 山越えに伴う地形効果1: 力学的効果

山越えに伴う変化のひとつは風速の増加である。出羽丘陵上空の風速は、風上から出羽丘陵上空にかけて顕著に増加する(図1)。このことは浅水理論を用いて説明することができる。雪雲は厚さ約4km(山形県北部の場合)の対流混合層の中で発達する。これは単純化すれば厚さ約4kmの1層流体に山という障害物がある状態と考えることができる。この場合、流れの状態を表すフルード数(Fr)は

$$Fr = U / (g'h)^{1/2}$$

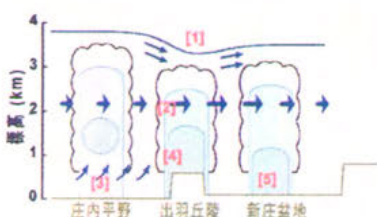
で表される。g'は密度補正した重力、U、hは風上の対流混合層の平均風速と深さである。また山の高さをmcと

$$Mc = mc/h$$

で無次元化する。すると、流れの状態はFrとMcによって図2のように表される。雪雲出現時の状態は図2に赤丸で示した付近にあり、山の上で風速が増加し流体上面が回り流れになる。

3. 山越えに伴う地形効果2: 雲物理学的效果

もう一つの変化は出羽丘陵上における降雪強度の増加(図1)である。これは特に高度約2km以下において顕著であったが、傾度分布で見ると出羽丘陵上で弱い降雪が減少した分、強い降雪が増加していた(図3)。気温、湿度の鉛直分布の観測を行い、出羽丘陵上での凝結による過冷却水滴の形成を見積もったところ、流れの場を考慮した場合、凝結は高度2km以下で起こることがわかった(図4)。従って、出羽丘陵上における降雪強度の増加は、雪雲が運んできた降雪粒子が丘陵上で凝結した過冷却水滴を消費した結果だといえる。以上の結果を図5に模式的に示す。



- [1] サブクリティカルな流れにより流体層が減少する。
- [2] 風速が増加し、雪雲の動きは加速される。
- [3] 地形地上昇流により過冷却水滴が形成される。
- [4] 降雪粒子が過冷却水滴を消費して成長する。
- [5] 地形により増幅された降雪が地上に落ちる。

図6 雪雲の山越えに伴う地形効果

4. 風速と地上降雪分布との対応

山形県北部では、地上降雪を風速によって2タイプに分けることができる(図6)。ひとつは、対流混合層下部で風が強く、雪雲の移動速度が遅いときのもの(A型とする)。もう一つは対流混合層全層で20m/sを超えるような強い風が吹き、雪雲もその風に流されているもの(B型とする)である。

A型では出羽丘陵のすぐ風下に降雪が集中する分布となり、B型では出羽丘陵を境として風下側の盆地が降雪集中域となる(図7)。これは、1)出羽丘陵上で増加した降雪が風下側の地上降雪となったことと、2)出羽丘陵上の風速増加により山がなければ風上側に降るはずだった降雪が風下側に移動したこと、の相乗効果と考えられる。出羽丘陵上の風速増加は、浅水理論に基づいて計算するとA型では3m/s程度、B型では約10m/sと大きな開きがあり、A、B型の地上降雪分布の差異はこの差を反映したものと考えられる。

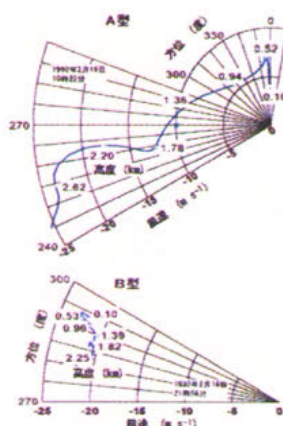


図8 山形県北部、出羽丘陵風上における典型的な風向・風の速さの方向・風速、高度による変化を水平面に投影して表したものの、雪印は降雪の移動速度を同じく表示したもの、赤印は市内におけるドップラーレーダー観測による。



図7 山形県北部における地上降雪量。A、B型とも約5日間の総降雪量(mm)で表す。降雪量の多い地点を赤で示す。

中井専人 雪氷防災研究部門



独立行政法人
防災科学技術研究所

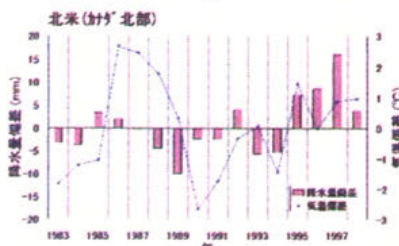
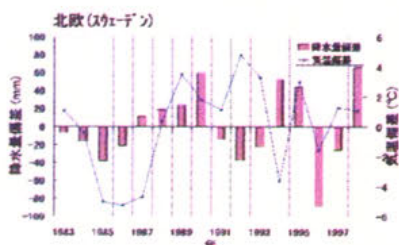
北半球雪氷域における冬季の気温と降水量の経年変化

地球上のエネルギーの流れの中で、高緯度地帯は冷熱源としてはたらし、気候の形成を考える上で重要な地域のひとつです。冬季には降水は積雪として地表面に蓄えられ、水循環の観点からも特徴のある場所です。北半球の高緯度地帯は、地球温暖化の影響が最も顕著に現れるとも言われています。

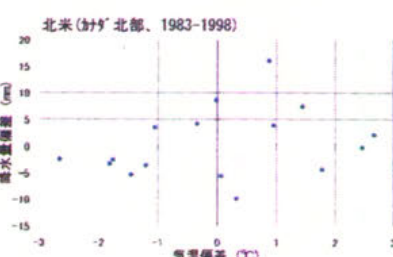
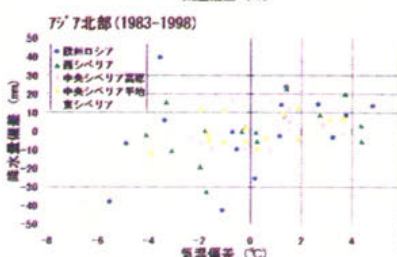
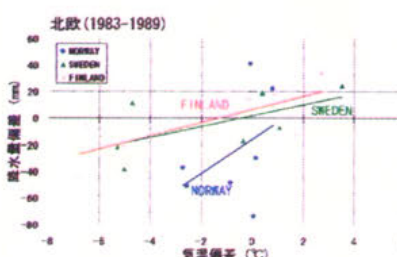
本研究では、最近20～30年間の気象・雪氷データを解析し、北半球雪氷域における冬季の気温と降水量の経年変化を調べました。また、気温と降水量の相関関係や変動の地域性についても調べました。



解析対象地域の図



北欧(スウェーデン)と北米(カナダ)における冬季の気温と降水量の経年変化

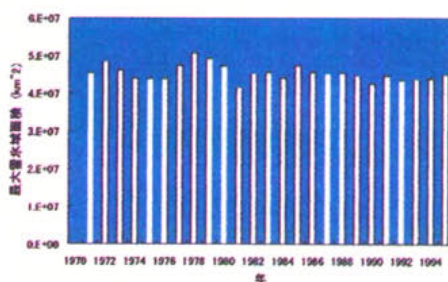


地域別の冬季における気温と降水量の相関

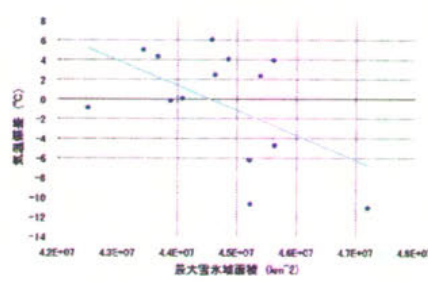
北欧 : 80年代は正相関、
90年代は不明瞭
北米 : 明確な相関なし
アジア北部 : 弱い正相関



1994年の北半球における雪氷域の季節変動



北半球陸域における冬季最大雪氷域面積の経年変化



フィンランドの1月の気温偏差と冬季最大雪氷域面積との相関

小杉健二 雪氷防災研究部門



NIED
National Institute of Advanced
Industrial Science and Technology

独立行政法人
防災科学技術研究所

第1回 防災科学技術研究所 成果発表会

2002年(平成14年)4月12日

編集／独立行政法人 防災科学技術研究所

発行所／株式会社 アイキューブつくば

お問合先／独立行政法人 防災科学技術研究所
企画部 企画課

〒305-0006 つくば市天王台3-1

Tel : 0298-58-1773

Fax : 0298-51-1622

株式会社 アイキューブつくば

〒305-0821 つくば市竹園1-12-2

Tel : 0298-55-2113

Fax : 0298-55-0198

印刷／株式会社 梶本

