

防災科学技術 NO. 48

科学技術庁 国立防災科学技術センター



も く じ

ボアホール式3成分ひずみ計の開発について	坂田 正治 ・ 1
地震と人間行動	岡部 慶三 ・ 4
センター新刊	6
気候変動研究計画(WCRP)の紹介	八木 鶴平 ・ 7
センターの動き	13
農業用トラクターをベースとしたロータリ除雪車の実用化	栗山 弘 ・ 14
USGSの地震予知活動	松村 正三 ・ 19

表紙写真説明

北海道釧路市に襲来する海霧は、航空機の離着陸・船舶の航行・道路交通などに深刻な視程障害を与え、低温・日照不足・湿気・塩害といった面でも農業や漁業、住民の生活環境などに重大な被害をもたらしている。

写真は昭和57年8月3日午前11時26分の釧路市の中心部(北大通9丁目)での霧の状況である。地上付近は視程800m位(気温19.3℃・風速2m/sec)で比較的に見通しはきいたが、7階建ビルの上あたりからかすみ始め、屋上の通信塔は濃い霧の中に埋もれてしまっている。この時刻に郊外にある海岸部(大楽毛南1丁目)では視程250m(気温16.5℃・南東の風4m/sec)であった。海から上陸した霧は都市域を吹走する間に地上付近から消散する傾向がある。

ボアホール式3成分ひずみ計の開発について

坂田 正 治

1. はじめに

当センターでは、首都圏を含む平野部直下の地震予知のための有力な観測手段として、平坦部においても地殻ひずみ変化を連続測定できる、ボアホール式3成分ひずみ計を開発してきた。現在、1, 2号機が筑波山東側の茨城県八郷町に設置され、観測を行っているが、結果は予想どおり良好である。以下このひずみ計の開発について要点をのべてみよう。

2. 3成分ひずみとは

3成分ひずみ計とは、地殻中の水平ひずみの3成分の変化を測定するための観測装置である。では、地殻の水平ひずみの3成分とは何か、簡単に説明しよう。地殻の中にある1点では、これより上にある地殻岩石の重さと釣り合うような圧縮応力が働いている。この応力だけならば、地殻は安定であり変動は生じない。しかし実際には、この基本的な応力の上に、さらに水平方向からの圧縮力が加わっており、これによって地殻は変形し、破壊（地震）をおこすこととなる。そこで、この水平方向の圧縮力の増減や方向の変化を監視することは、地震予知の上で重要である。

ところで、この水平方向からの圧縮力は、最大圧縮応力と最小圧縮応力の2成分に分解することができる。この2つの応力の方向は必ず直角になっている。この2つの応力の値およびそれらの地球に対する方向を、地殻水平応力の3成分と呼ぶ。地殻は弾性体であり、この応力の3成分に対応して地殻水平ひずみの3成分がある。すなわち、最大および最小の圧縮ひずみの値と、それらの方向のことである。

ここで扱う応力やひずみの値は絶対的なものではなく、あくまでもある基準状態からの変化分についてのものであることを記憶しておく必要がある。また、3成分ひずみ計は、3成分応力（変化）計と呼んでもよい。

3. ボアホール式3成分ひずみ計開発の経過

従来、地殻水平ひずみ変化の観測には、横坑における伸縮計が用いられてきたが、これは平坦地域には設置不可能であるため、ボーリング孔（ボアホール）を利用する形式のものが必要となった。このためのボアホール式ひずみ計としては、気象庁がすでに20本以上を実用観測に使っている、埋込式ひずみ計がある。しかしこのひずみ計は、（1）高感度、（2）広い作動範囲、（3）不均一物体に対する適合性、等すぐれた点が多いが、体積ひずみ（最大および最小ひずみの和）という

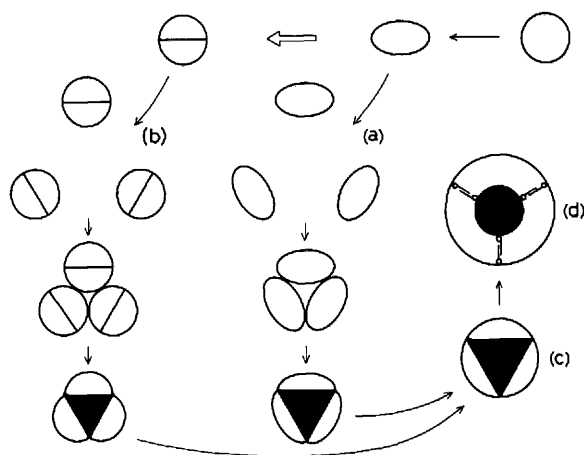


図1 3成分ひずみ計案の進化系統図

1成分しか検出できない。そこで、筆者は、この埋込式ひずみ計の長所は生かしながら、なお水平ひずみ変化の3成分を検出できる、ボアホール式3成分ひずみ計の機構についていろいろ考えてみた。

図1は、各種案を、一連の進化系統図としてまとめたものである。まず右上の円形は、気象庁のひずみ計の断面を示す。このひずみ計の場合、地中に埋められた円筒容器の体積変化(=断面積変化)を測ることになるが、これは最大および最小の圧縮ひずみの和に比例するのみで、方向に依らないことは直観で明らかである。そこで、円筒のかわりに扁平断面を持った筒を利用すれば、断面積の変化は、方向に依存するであろうから、3本以上を独立な方向に配置し埋め込むことにより、それらの観測結果(それぞれの断面積変化)から計算でひずみの3成分変化が求められると予想できる。扁平断面として、まずだ円が考えられる。だ円は、数学的にはきれいな計算にのるが、実際にだ円筒を製作するのは容易ではないので、図1左側にあるような形のもの考えた。円筒のある直径方向に抵抗壁を入れると、この直径方向には変形しにくくなり、逆にこれと直角方向には一番変形しやすくなる。従って、この形は結果的にだ円と同等になるものと考えられる(これは数学的にも証明された)。これらのだ円、または直径が拘束された円を断面としてもつ筒を3本組み合わせることにより、3成分ひずみ計は構成される(図1(a)と(b))。現実に筒を埋めるための孔を3本掘ることは得策ではないので、3本の筒相互の距離を小さくして行き、ついには1本にまとめてしまうことを考えた(図1下段)。こ

れらの形をより洗練すると(c)の形に到達する。また、(d)の形は計算の便利のために考えたものであるが、現実には製作困難であり、実際には(c)タイプのものを製作したのである。これを剛隔壁3分割二重円筒型と呼ぶことにした。

4. 実際の3成分ひずみ計の構成

図2は、3成分ひずみ計の構成を示した概念図である。実際の外形は細長く、直径114 mmのステンレス製円柱体で、ケーブル部分を除いた埋設部分の全長は、設置用部品を含めて8 m60cmに達する。このひずみ計と岩盤内の孔との間隙は、モルタルで充てんされ、二者が一体化されている。

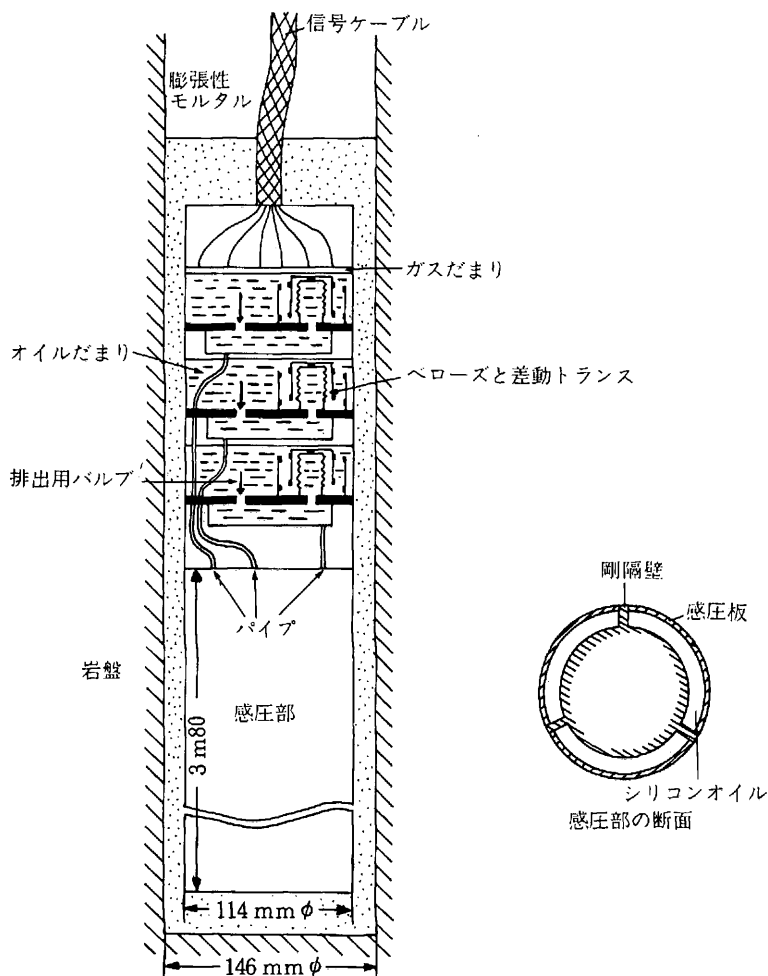


図2 ボアホール式3成分ひずみ計の構成

感圧部は、外部からの応力（ひずみ）変化を直接検知する重要な部分で、断面図に示すとおり、二重円筒の間隙が、軸方向の隔壁により3つの隔室に等分割されている。それぞれの隔室はシリコンオイルで満たされ、対応するペローズにパイプで連結されている。

このひずみ計を含む岩盤に働く応力（ひずみ）に変化があるとき、3つの隔室の断面積は、それぞれの方向に応じて変化する。この断面積変化に対応するシリコンオイルの流動量は、ペローズの動きに変換され、さらに、ペローズに付随する差動トランスにより電気信号となり、地表に伝達される。このようにして、観測量として3隔室の断面積変化が得られるから、計算でひずみの3成分変化を求めることができる。

なお、シリコンオイルの温度膨張率が金属より1桁以上大きいので、温度変化によるみかけのひずみ変化を小さくするため、隔室の厚みを2mmと薄くし、全容積を可能な限り小さくした。

5. 3成分ひずみ計による観測結果

57年1～3月に、同型のひずみ計2本を、筑波山の東側にあたる茨城県新治郡八郷町に設置した。付近の地質は、筑波山体につらなる緻密なカコウ岩であり、深さ160m前後の埋設深度では、何mもの連続したコアが採取できる程であった。設置にあたっては、機器ができるだけボーリング孔と同心になるように工夫した。

図3に最近の観測データの1例を示す。全体に大きく右下がりになっているのは、岩盤に孔を開けた結果、周囲から岩盤が空白部分に向かって押し出してくる一種のクリープ現象と思われる。5成分はこのドリフトの量がよくあっている。例外の1成分については原因を調査中である。

また図4は、1982年7月23日の茨城県沖地震によるひずみ変化（ストレインステップ）を図示したものである。この地震により、観測点付近の地殻がほぼ東西に伸びたことを示している。2本から得られた結果のうち、方向については特によく一致していることに注目してほしい。

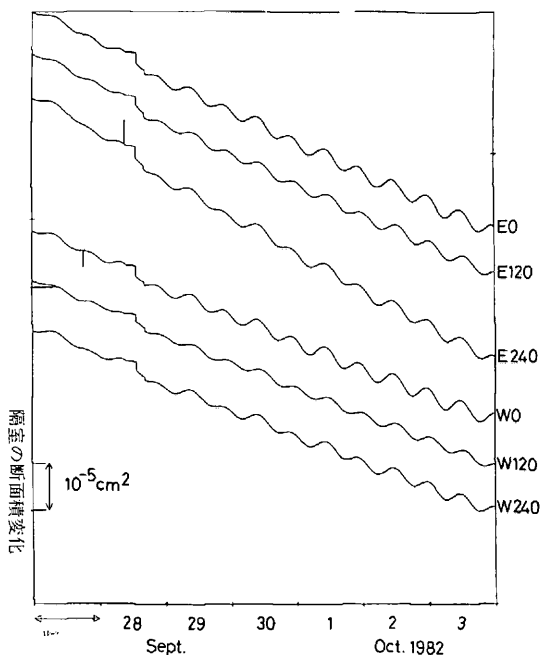


図3 2本の3成分ひずみ計による観測例

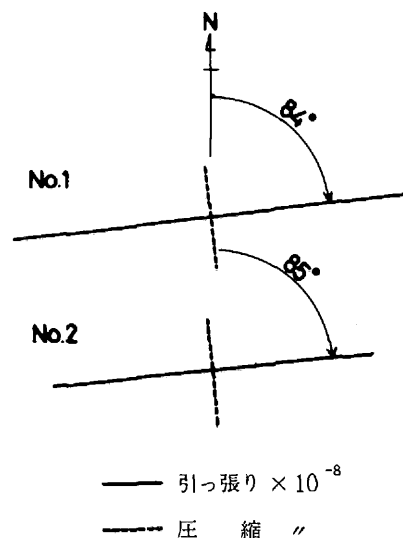


図4 2本の3成分ひずみ計によって検知された、1982年7月23日の茨城県沖地震によるひずみ変化。

地震と人間行動

岡 部 慶 三

地震と人間行動という問題が、最近しばしば話題にされるようになった。それは地震による災害が、その折の人びとの行動の仕方がいかにによって、さまざまに影響されると考えられるようになったためと思われる。いいかえると人びとの行動が地震による災害を左右する一つのファクター(要因)として、あらためて注目されてきたからにはほかならない。言うまでもないことだが、地震によって、災害が発生するのは、そこに人間がいて、社会があるからである。したがって地震災害は、人間・社会という要素を抜きに考えられないというのは当然であろう。

不安感からの行動

そこで地震災害に対し、人間行動は一体どのように一つのファクターとして作用するかということが問題になるが、それはひとくちで言えばプラスにもマイナスにも作用すると考えてよい。つまり人びとの行動により、災害が一定程度に防止されることもあれば、あるいは逆に災害が増幅され、拡大されることもありうる。だが最近、地震と人間行動というテーマが取り上げられるとき、概して人間行動が災害を拡大するマイナス要因となる面だけが注目される傾向にある。地震が発生したとき、人間は誰でも多かれ少なかれ混乱した行動をとることは否定できない。そのような人間行動が地震の二次災害、三次災害として、なくもがなの災害の拡大の原因になるという面だけが、とりわけ注目され、あるいは強調されているようである。しかし筆者は、こうした傾向に対しては批判をもっている。人間行動が災害を増幅する例として、たとえばパニックの問題がある。近年来、パニックのおそろしさということはマスコミがしば

しば力説し、行政もまたパニックに対する警戒ということにとりわけ神経を使い、また一般市民も災害が起って恐いのはパニックだというように思い込みをする傾向がかなり顕著である。災害が発生すればパニックが必ず起り、そしてパニックは災害を二次的、三次的に拡大するという一種の災害イメージが社会一般に共通に抱かれている。

だが、パニックとは一体どういう現象を意味する言葉だろうか。実をいうとパニックとは非常に多義的な言葉であり、パニックについて人びとが抱いているイメージはさまざまである。たとえば或るひとは、多数の人びとがつよい不安の感情をもつことをパニックと呼んでいる。先年、第一次オイル・ショックの直後、トイレット・ペーパー・パニックと呼ばれる出来ごとがあった。トイレット・ペーパーが品不足からなくなるという噂が広がり、人びとは先を争ってトイレット・ペーパーを買いあさった。この場合には、スーパー等の店先で行列ができたこともあったが、人びとがわれ勝ちにトイレット・ペーパーを買おうとして相争い、大混乱が発生したというようなことは伝えられていない。要するに、トイレット・ペーパーが買えなくなりはないかと、広範囲の人びとがつよい不安を感じたというのが、このパニックの正体である。しかし不安を感じただけではパニックではない。

実はパニック“反応”

地震が起こった場合、つよい不安を感じるのは誰も同じであり、もし不安を全く感じないような人がいるとすれば、その人はむしろ異常なタイプというべきであろう。また、不安に駆られたために、平常心を失い、無我夢中で行動するというの

も、大地震の時であればごく当り前のことと思われる。私はこのような行動のタイプをパニック反応と呼ぶことにしている。このようなパニック反応は危険に遭遇し、身体生命をおびやかされた際の人間の一種の防衛反応である。ちょうど煮えたぎった鍋にうっかり手を触れたとき「アツイ！」と思わず反射的に手を引込める反応と同じであり、誰にも共通な生体反応ということができる。

したがって大地震が発生した場合、このような意味でのパニック反応が発生するというのは当然であり、とくに問題となることではない。地震の際、不安を感じるなどといっても無理だし、冷静に行動せよといったところで、なかなかできるものではないだろう。つまり、このような意味でのパニック反応は、おそらく地震につきものだし、それが生物体としての人間の自己防衛反応である以上、このようなパニック反応に対しては有効な対策はほとんど考えることができないはずである。

ところが不安に駆られた大勢の人びとが盲目的に行動するということによって、或る場合には社会に混乱が発生し、その混乱が防災活動を妨げ、あるいは混乱それ自体が人的、物的な被害をひき起こすということもあり得る。いいかえると、状況次第によっては、人びとの混乱したパニック反応が社会システムの秩序を乱し、社会がシステムとして行動できなくなるような場合がある。それを私はパニック災害と呼びたい。そしてパニックについて問題にすべきことは、人びとの盲目的な行動が社会全体を無秩序にして、災害を拡大するパニック災害の問題である。

つまり、ひと口でパニックと呼んでも、パニック反応の問題とパニック災害の問題とは、はっきり区別すべきであるということ、そしてパニック反応は地震につきものだとしても、それが直ちにパニック災害になるとは限らず、パニック災害が発生するにはそれなりの状況の諸条件があるということを私は主張したい。

稀なパニック"災害"

そこでこのような意味でのパニック災害は、果たして地震につきものであろうか、地震が起れば、多勢の人たちが盲目的、衝動的に動き廻り、社会の統制は乱れて被害が一層拡大されるという

ことに、必ずなるものだろうか。

実をいうと、過去の事例をみるかぎり、地震に際してパニック災害が発生したことは、意外にもむしろ稀である。たとえばアメリカの科学アカデミーは過去の災害に関する研究文献約150点を調べたところ、パニック災害が発生したということを報告している文献はその中わずかに数点に過ぎなかったと述べている。

また、これに関連して科学アカデミーは災害警報について論じ、危険の接近を告げる災害警報は住民にパニックを引き起こすおそれがあるとして、一般に警報を出す立場にある行政の責任者は警報を出し出し渋りがちであるが、しかし実際には警報によってパニック災害が引き起こされた例は少なく、むしろ警報が住民によって無視され、警報としての効果を発揮し得なかった例の方がはるかに多い、と論じている。わが国の場合でも、災害時にパニックが起こったという例はほとんどない。たとえば戦後だけでも幾つかの被害地震が発生しているが、福井地震、新潟地震、宮城県沖地震、浦河地震等々、いずれの場合にもパニック災害が起こったという話は全く聞いていない。あるいは伊勢湾台風や先の長崎市の豪雨災害の時に、パニック災害が発生したという話はない。災害にはパニックがつきものだと一般には思いこまれているが、事実はこちらに反し、災害時におけるパニック災害の例を探し出す方がむしろ困難なくらいである。

災害時でも知的行動

したがって、この点を考えると、われわれが災害についてもっているイメージには修正を加えることが必要である。災害時の人間行動を問題とするときも、そのマイナスの側面ばかりを強調し、注目するということも改めた方がよさそうに思える。そして今少しプラスの面に目を向けることが必要であろう。災害時には、人びとが恐怖のあまり無我夢中になって行動するというのは事実であるが、その極限状況においても人間が知性を働かし、非常に合理的に行動するというのもまた反面の真実である。そのような知性的な行動によってわが身を救い、他人を救助し、災害の拡大を未然に防いだという例は決して少なくない。パニック

災害の例を探すのは困難であっても、こうした人間知性の働きが危険を克服した例は逆に幾らでもある。人間は心理学者が実験に使用するネズミとは異なるはずである。

したがって地震と人間行動という問題を考えるとき、このようなプラスの面をもっと重視し、これをどのように組織化して防災に役立たせるかを検討することが、今後は一つの大事な課題であろう。

Keizo Okabe・東京大学新聞研究所

(編注)

本稿は、昨年11月18日東京都大田区産業会館において開催した、防災科学技術講演会の講演要旨を加筆訂正していただき掲載したものである。

セ ン タ ー 新 刊

- 岩槻深層地殻活動観測井の作井と坑井地質，国立防災科学技術センター研究速報，第47号，113頁，昭和58年1月

深層観測井作井に関する種々の問題点の分析と，開発された多くの技術的な成果についての報告。

- 豪雪地帯市町村における雪害および雪対策の実態調査資料—1980年～1981年冬期一，防災科学技術研究資料，第76号，126頁，昭和58年2月

全国の豪雪地帯の市町村を対象に，雪対策に関する投資の状況及び各種の雪害の実態等について調査を行った結果の報告。

- 東海地方地震津波史料Ⅱ—静岡県・山梨県・長野県南部一，防災科学技術研究資料，第77号，285頁，昭和58年3月

静岡県・山梨県・長野県南部地方に明治19年（1833年）以前に起きた地震・津波・火山噴火・降灰・山崩れを伴う洪水等の記録。

- 地殻傾斜観測資料集（4）1981〔近又・野田沢・岡部・中伊豆・塩山・岩井北・銚子・三ヶ日・静岡・府中地殻活動観測施設〕，防災科学技術研究資料，第78号，147頁，昭和57年11月

1981年の上記各観測点における地殻傾斜の観測資料。他に雨量・気圧・地中温度の年変化のデータをも掲載。

- 松代群発地震資料（4）—地下水に関する資料集（その2）—，防災科学技術研究資料，第79号，330頁，昭和58年2月

松代群発地震における異常湧水に関する資料275点を収録。

- 1981年8月24日台風15号による小貝川破堤水害調査報告，主要災害調査，第20号，125頁，昭和58年2月

1981年8月23日台風15号による利根川支川小貝川が破堤した。これに伴う被害状況の調査報告。

気候変動研究計画（WCRP）の紹介

八 木 鶴 平

1. はじめに

気候変動研究計画（World Climate Research Programme, WCRP）は、世界気象機関（WMO）と国際学術連合会議（ICSU）とが1979年に合意し協同提案した国際協同研究計画で、WMOが他の国連専門機関などと協議して提案した世界気候計画（World Climate Programme, WCP）の重要な副計画である。WCRPでは、気候変動がいつ、どこで、どのように起ったのか、気候変動の物理的機構はどのようなものかなどを研究し、それに基づいて将来の気候変動の予測可能性を検討することになっている。

わが国においては、日本学術会議の国際協力事業特別委員会WCRT分科会および地球物理学研究連絡委員会、世界気候小委員会がWCRP計画の立案にあたってきた。気候変動の研究は数年間で完了するものではなく、学際的・国際的協力の下での息の長い研究の積み重ねが必要であるとの

認識に立つが、長期にわたる具体的計画を立案することは困難なため、1986年から5年間について当面の研究計画が立案されることとなった。

計画を実施する機関は大学および各省庁の研究機関、一部行政機関である。国立防災科学技術センターはWCRPの基礎となったGAPR（地球大気開発計画）におけるAMTEX（気団変質実験計画）に積極的に参加した実績に鑑み、また冷害や干ばつなど異常気候災害に深く関わる気候変動に関する研究という観点においてWCRPに重大な関心を持ち、計画に参画するべく準備を行っている。

本文はこのようなWCPにおけるWCRPの概要を紹介することが目的である。そのため、WCRP分科会および世界気候小委員会の1982年5月に出した小冊子「気候変動研究計画」の、§2「気候変動と世界気候計画」および§4「気候変動研究計画の目的と意義」の中から、以下に抜粋紹介する。

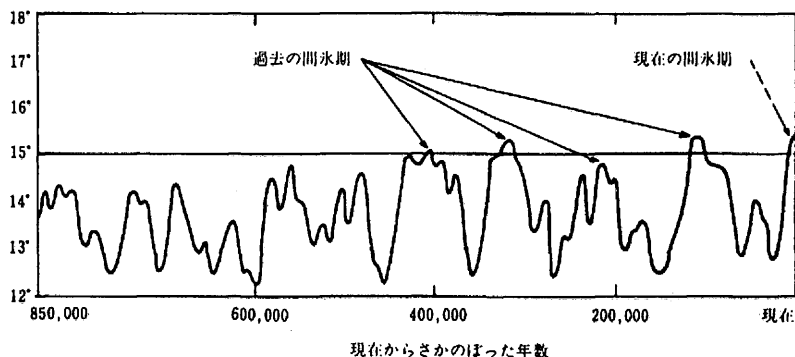


図1 地上平均気温の推移。過去85万年間の全球平均気温の変化で、過去4回の間氷期が示されており、現在も間氷期である事が明らかである。

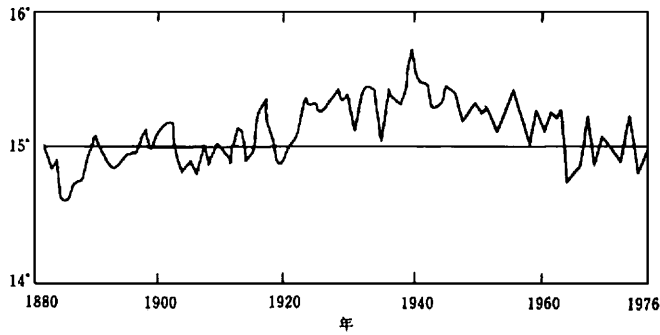


図2 過去100年間の北半球平均気温の変化で、前世紀末からの昇温と1940年頃からの降温傾向が示されている。

2. 気候変動と世界気候計画（WCP）

人類は、過去においてその生活環境、特に気候の著しい変化を経験して来た。過去85万年間の気温は、図1からわかるように、全地球的規模で数回の著しい低温期（氷期）と温暖期（間氷期）を繰り返している。現代は、比較的温暖な間氷期にあるが、それでも顕著な変化がいろいろな時間スケールで発生している。最近の約100年間に於ける北半球の平均気温の変化が図2に示されている。19世紀末から20世紀初頭の低温、20世紀中葉の高温、その後の低温化傾向が見られ、さらにより短かい時間スケールの変動がそれに重なっている様子が認められる。

このような全地球的または半球的規模の気温の変化に比べて、局地的な変化の振幅は一般にはるかに大きく、10倍以上に達する場合もしばしば起こっている。今世紀にはいつてからの特に顕著な異常天候の例は、西アフリカのサハラ砂漠の南縁（サヘル地方）の大干ばつである。図3は、サヘル地方の年降水量の経年変化を示したものである。今世紀にはいつてから、この地方で数回の干ばつが発生したこと、特に1960年末から1970年代はじめにかけて大干ばつに見舞われたことがわかる。サヘル地方にある諸国—モーリタニア、セネガル、マリ、アッパーボルタ、ニジェール、チャド—では、この大干ばつによる食糧不足のために、各国からの食糧補給や世界的救難活動にもかかわらず、数十万人の餓死者を出している。1972年には、ソ連邦やインドも大干ばつに見舞われ、このために世界の食糧貯蔵量は2パーセント以上も減少して、

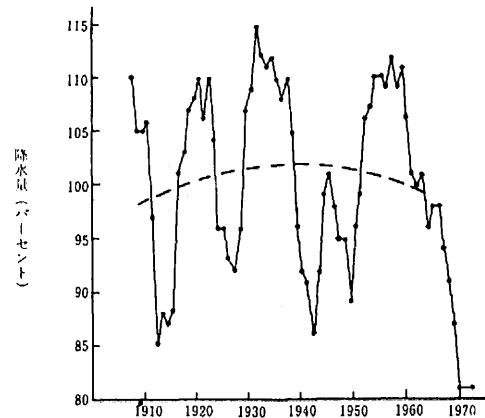


図3 西アフリカ、サヘル地方の年降水量の5年平均の推移。1905-1970年の65年間の平均値に対する比をパーセントで表わしている。破線は長期傾向を示す。1960年代末からの干ばつが、過去4回の干ばつに比べていかに著しいものであったかがわかる。

第2次世界大戦後の最低値を記録している。このような異常天候は年々増加する傾向を示している。

一方、近年の人間活動の急速な発展は、全地球的規模の環境汚染を増加させており、その影響として、人間活動による「意図せざる気候変化」が引き起こさせる危険性の高いことも懸念されるようになった。その一つとして、大気中のエアロゾルの増加があげられる。エアロゾルの影響としては、太陽放射の収支を変化させる直接的効果の他、雲核・氷晶核として作用することによって雲の状態を変え、その結果として放射収支を変化させる間接的効果も考えられ、その研究が大きな課題となっている。

大気中の二酸化炭素が、年々顕著な増加傾向を

示していることも大きな問題となっている。19世紀末に約290 ppmVであった大気中の二酸化炭素濃度は、最近では約340 ppmVになっており、21世紀中葉には600 ppmV以上になるものと考えられている。このような二酸化炭素の増加は、化石燃料の大量消費によるほか、森林破壊も大きく関与していると考えられているが、その詳細はまだ明らかではない。

二酸化炭素は、太陽放射に対してほぼ透明であるので、地球・大気系の太陽放射の吸収にはあまり影響を与えない。しかし、赤外線を強く吸収する性質があるため、地球表面や大気下層が宇宙空間へ向けて放出している赤外放射量は、大気中の二酸化炭素によって抑制される。これが温室効果である。大気中の二酸化炭素が増加すると、この温室効果が増強されるので、地球の気温は上昇する。地球の熱平衡に関する最近の研究によると、大気中の二酸化炭素が現在の2倍になったとき、全地球平均の地上気温は2～3℃高くなるものと見積られている。このような温暖化は地球上いたる所で一様に起こるのではなく、極地方では10℃以上の昇温が起こるものと考えられる。そのために、極氷の融解による海面の上昇なども心配されている。特にウェデール海やロス海の棚氷の不安定的流出とそれに続く西南極氷床の融解に伴って、海面が5～8mも急速に上昇する危険や海洋表層の貧栄養化に伴って水産に悪い影響が及ぶことなどが懸念されている。また、この温暖化に伴う降水分布の変化によって、現在の穀倉地帯が乾燥化するなど、農業生産にも重大な影響が及ぶものと心配されている。

世界の総人口は、1980年現在、約43億であるが、西暦2000年には60億を突破することはほぼ確実な趨勢(すうせい)にある。このような著しい人口増加に対して、食糧生産の増加は世界全体としてはほぼ追従し得るものと見なされている。しかし、人口増加率が著しく高いと見込まれる発展途上国では、農業生産技術が低く、土地の荒廃が進行することも懸念される上、食糧を輸入する経済的余裕も乏しい。それ故、ひとたび異常天候に見舞われると、従来にも増して深刻な飢饉が起これ、世界的救援活動にもかかわらず悲惨な状況になることが懸念される。

先進国においても、1977/78年の米国東部の厳

冬や1980年にわが国を見舞った冷夏の例に見られるように、異常天候によって社会機能が麻痺し、エネルギーの需給がひっ迫するなど、社会的・経済的に大きい被害を蒙るケースがしばしば発生している。このように、社会構造の複雑化に伴って、気候変動が人間社会におよぼす影響はますます深刻なものとなりつつある。

このような背景のもとに、近年、世界の気候の変動は人類の生活にとって極めて重要な要素であるとの認識が高まり、国家あるいは国際政策の決定に際しても、気候変動とその影響を十分に考慮すべきであるとの見解が、国際的に高まって来た。

世界気象機関(WMO)は、1979年2月にジュネーブにおいて、世界気候会議を開催し、約400名におよぶ各分野の専門家が参加して、世界気候およびその影響について、多くの方向からの詳細な討議が行われた。その結果をふまえて、WMOは、同年5月の総会において、世界気候計画(WCP)の実施を決議した。

この世界気候計画(WCP)の主な目的は、(1)気候変動の知識を深めると共に、気候変動に対する人間活動の影響を明らかにすること、および(2)気候変動の影響を受け易い経済・環境・社会活動に関する政策決定に際して、気候変動による政策の蹉跌(さてつ)をなるべく軽くすませることができるよう、行政機関を援助することである。WCPは、次の4つの計画から出来ている。すなわち、(1)気候データ計画(WCDP)、(2)気候利用計画(WCAP)、(3)気候影響調査計画(WCIP)および(4)気候変動研究計画(WCRP)である。

WCRPについては、1979年11月に、WMOとICSUの間に協定が結ばれ、相互に協力してその実施に当ることになっている。

3. 気候変動研究計画(WCRP)の目的と意義

ICSUとWMOの合同科学委員会(WCRP/JSC)によってとりまとめられたWCRPの目的と意義および研究目標の概要を以下に述べる。

3.1 目的

気候変動研究計画(WCRP)の主な目的は次

の2つである：

- (1) 気候変動の予測がどの程度まで可能であるかを明らかにすること。
- (2) 気候に対する人間活動の影響を明らかにすること。

これらの目的を達成するために、次の4項目の研究を実施することが必要である：

- (a) 全地球のおよび地域的気候とその時間的変化の実態に関する知識を蓄積し、それらを支配する機構についての理解を深めること。
- (b) 全地球のおよび地域的気候にみられる有意な長期変動の実態を明確にすること。
- (c) 気候システムの振舞いをシミュレートし、気候変動の予測可能性を検討できるような数値モデルを開発・改良すること。
- (d) 自然および人為的な刺激に対する気候の感受度を調べること。

3.2 WCRPで取り上げる気候変動の時間・空間スケール。

一般に、天気は瞬間的な大気状態を意味するのに対して、気候は時間平均など天気の統計的特性を指している。気候の形成にかかわっているものは総称して気候システムと呼ばれ、図4に示すように大気、海洋、雪氷圏、地表面および生物圏から成り立っている。

WCRPが主な対象とする現象の時間スケール

は、数週間ないし数十年である。数十年という上限は、既存のデータの期間、数値モデルの有効な適用期間および政策立案者の主な関心と大体一致している。海洋の深層は100年またはそれ以上の時間スケールで変化するが、上層海洋は1カ月ないし数十年のスケールで変化しているので、WCRPにおいては上層海洋に関心が集中される。WCRPにおいて主に対象とする気候の空間スケールは、地域的(約1000km程度)から全地球的なものである。このように大規模な現象に限定することは、気候の数値シミュレーションを行う際の技術的制約や異常気象の発現のスケールと対応している。より小規模な現象も、大規模な気候に重要な役割を演じていると考えられるが、それらに関する理解を深め、その効果を気候の数値モデルに包含するためにどのようにパラメタライズするかは、WCRPの重要な課題の一つである。

理論あるいは解析によって得られる広域の気候情報はすべての国の局地的な政策決定にも役立つはずであり、そのために、広域気候情報から特定の地域における局地的気候特性を抽出する方法の確立が望まれる。実測データの解析や数値モデルによるシミュレーションにおいては、単に時間的平均値を取り上げるに止まらないで、稀にしか起らない現象や極値などを含めた変動度に関する研究も必要である。

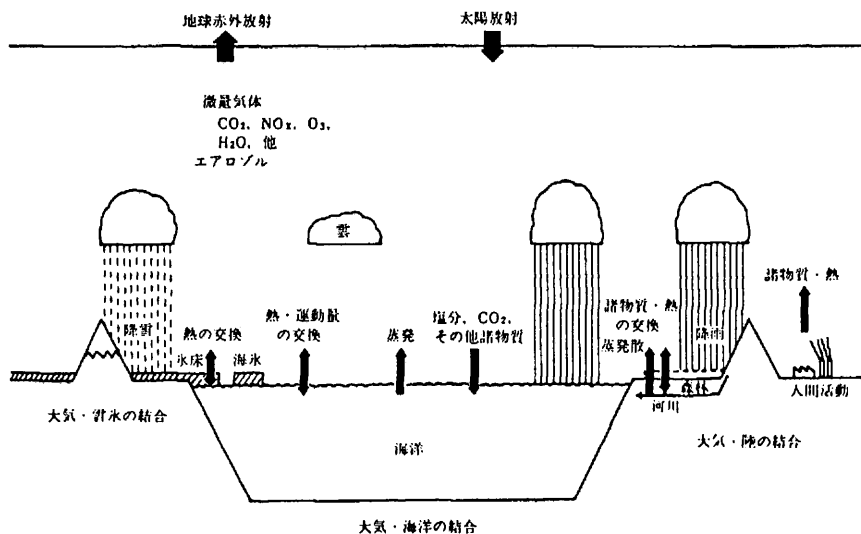


図4 気候システム

3.3 研究の意義

次にWCRPの成果を十分なものにするために必要な研究項目とその意義を述べよう。

(1) 気候の診断

気候とその変動の実態を包括的・定量的に把握することは、気候の研究にとって基本的に重要である。気温・降水量などの若干の気候要素の平均・分散・共分散等の統計量については、既にかなり明らかにされている。しかし、より総合的な統計量を明らかにすることが必要であり、それらは気候システムが、たとえば、火山大噴火による成層圏エアロゾルの急増のような擾乱(じょうらん)に対して、どのように応答するかを明らかにする上で大いに役立つものと期待される。長期間にわたる上層海洋の観測データを確保することは容易ではないが、その統計量を求めることは重要である。

気候を表現する要素、たとえば気温が日射・雪氷被覆・海面水温など大気以外のパラメータとどのような相互関係をもつかを研究することは重要である。これにより、気候変動のうち、どの部分が気候の内部的な変動であり、どの部分が外部パラメータの変化に対応したものであるかを明らかにできるものと期待される。このような統計的研究の他に、低気圧の移動経路の変化やブロッキングの発現などの現象を対象とした総観的研究も、気候の変動性を解明するために必要である。

WCRPの一環として提唱されている国際衛星雲気候計画(International Satellite Cloud Climatology Project, ISCCP)は、各国が協力して、気象衛星データから雲の分布に関する全球的なデータを得ようとするものである。気候に対する雲の役割の重要性から考えて、この計画を積極的に推進することも肝要である。

(2) 気候モデルの開発

気候モデルの研究は、気候システム内の物理的・化学的・生物学的な種々の過程を定量的に表現する目的で進められて来た。全球大気の振舞いを対象とした3次元モデルから全球平均の熱平衡モデルまで、種々の階級の数値モデルがあり、やがては気候の研究を進める上で極めて有用な武器となるものと考えられている。しかし、従来の数値モデルはまだまだ不十分な段階にあり、その改良には多くの研究が必要である。特に、長期間の時間積分に適

した3次元の海洋・大気結合大循環モデルの開発や各階級のモデルにおける物理過程のパラメタリゼーションの改善が大きな問題となっている。気候モデルの開発は、単に研究手段の確立というだけではなく、気候研究の中心課題であるといってもよい。

気候モデルの設計やモデルの有効性の検証に際しては、観測データの組織的な解析が特に重要であり、室内実験の寄与も大きいと期待される。

(3) 気候にとって重要な過程

気候システムの構成要素の内部過程やいくつかの要素の間の相互作用は、気候に大きい影響を与える。特に注目すべきものを以下に記す：

(i) 海洋の諸課程

海洋は、熱の輸送・貯留を通して地球の熱収支に重要な役割を演じているので、これらの海洋過程を理解し、そのモデルを作り、変動を予測することは気候の研究にとって極めて重要である。

数十年以下の時間スケールでの海洋・大気間の相互作用は、多くの場合深さ200~300 mまでの上層海洋に限定されている。この相互作用が活発に起こっている場合は、黒潮やメキシコ湾流の発現する低緯度地方、海水の端の不安定成層域、湧昇域およびモンスーン形成域である。海洋・大気結合モデルに必要な観測データを確保するためには、既存の海洋情報のサービス機構を活用するとともに、表層海洋の観測技術を開発してそのモニタリングを効率的に行う計画が必要である。

海流による極方向への熱輸送および海域間の熱輸送が全球気候にどのような役割を果たしているかを知ることにも必要である。さらに、生物生産性の変化は、海面のアルビード(albedo, 物体に放射が入射するとき、反射光のフラックスと入射光のフラックスの比をアルビードという。)を変えるので、全球気候に無視し得ない影響を与える可能性のあることなどにも注目する必要がある。

海水の影響を把握する事は気候システムの十分な理解に不可欠である。南極・北極域の海水の範囲や非結氷域の分布、およびそれらの運動特性を十分に把握する必要があるが、このような研究の基礎となる観測データが極めて不十分であり、その充実が当面の大きな課題である。

(ii) 生物地球化学サイクル

二酸化炭素、オゾン、水素酸化物、窒素酸化物、

塩素化合物などの大気中の微量成分は、その放射特性のために、気候に大きい影響を与える可能性がある。人間活動の結果として、それらの濃度が将来どの位になるかを予測するために、生物地球化学サイクルとその影響についての研究を推進することが必要である。これらの微量成分の濃度をモニターするための既存の方法の妥当性を検討すると共に、全地球規模で適確なモニタリングを実施することが、特に重要である。

(iii) 雲とその放射特性

雲は、入射太陽光および放出赤外線に大きい影響を与え、地球大気放射収支に支配的な役割を演じている。雲の放射効果の評価は、すでに数多く試みられているが、雲の分布やその光学・放射特性が十分に把握されていないので、信頼すべき雲の放射効果はまだ得られていない。放射効果と並んで、雲量と他の気候要素との間の関係をデータ解析等から把握することも、気候モデルの改善にとって不可欠である。

(iv) エアロゾルとその影響

エアロゾルは、直接的には大気中の放射伝達に影響を及ぼし、間接的には雲の形成やその特性に関係している。エアロゾルには人為的起源のものと天然起源のものがあるが、どのようなエアロゾルが気候に重要な影響を及ぼすかを明らかにすると共に、その気候学的分布を知る必要がある。また、モデルによる数値実験などによって、他の物理過程と比較して、エアロゾルの効果の相対的重要性を確かめることも大切である。

(v) 水循環

水蒸気の凝結に伴う潜熱の放出は、大気運動に対する大きいエネルギー源である。それ故、水蒸気の凝結、降水、土壌水分変化、流出などについて、全球規模で水循環の研究を推進する必要がある。

(vi) 地表面および雪氷圏過程

数値実験の結果によると、地域的なアルビードや土壌水分は気候に大きい影響を与えている。しかし、その数値実験において、アルビード、蒸発散、地表摩擦などの取扱いには、大きな改善の余地がある。地表面特性が一様でない広域については観測事実も少なく、その定式化の改良は容易でない。同様に大気と雪氷圏の間のエネルギー交換についても研究を進め、大気・雪氷圏間の相互作用を正し

くモデルに組み入れる方策を講ずる必要がある。

(vii) 太陽活動の影響

気候に対する太陽活動の影響については多くの研究があるにもかかわらず、まだその実態も機構も明らかにされていない。データ解析および理論の両面から、これに関する定量的な研究をすすめるべきである。関連して上層大気と下層大気間の相互作用が、気候変動に対してどのような役割を演じているのかについても研究する必要がある。

(4) 気候の予測可能性

気候変動のうち、2～3カ月の時間スケールの変動の大部分は、日々の天気系の複合効果と見てよい。日々の天気系については2～3週間程度までが予測の限界とされている。しかし、低気圧の移動経路、ブロッキングの発現、モンスーンの特性などについては、より長い時間スケールの予測が可能ではないかと期待される。数週間から数十年の期間に対して、モデルが大気の変動特性を予測できるかどうかを検討することが望まれる。その際、気候システムの構成要素が徐々に変化することも考慮する必要がある。

(5) 気候の敏感度

気候が、次の条件の変化に対して、どのように応答するかをモデル実験することに大きい関心が持たれている：

(a) 境界条件（太陽放射、アルビード、海洋・大気境界、植生など）

(b) 大気成分（二酸化炭素、オゾン、フロン、エアロゾルなど）

このような研究は、特に人間活動が気候に与える影響を知る上で重要である。

(6) 気候の長期変動

前世紀の気候データや最近1000年の種々のデータを解析して、気候システムの長期の変動性を確かめる必要がある。このような古気候の研究は、気候予測の研究の基礎となるものである。

3.4 気候研究のためのデータの必要性

気候データは、気候の統計的診断の研究をはじめとして、気候の研究を実施する上で不可欠のものであることはいうまでもない。次のような目的に対して重要となる：

(a) パラメタリゼーション

気候モデルの作製に際して取り上げるべき物

理過程の中には、現象の個々の振舞いを考慮しないで統計的特性のみを考慮するものがある。境界層の乱流過程などがその例であり、鉛直乱流熱輸送量の平均値というような統計量を、風速や温度の広域分布特性を用いて表現するパラメタリゼーションが行われる。このようなパラメタリゼーションの改善のために、適当な時間・空間スケールでの特別観測が必要である。

(b) モデルの妥当性の検証

天気予報などの目的のために現在実施されている全球気象観測網は、気候モデルから得られる結果の妥当性を検証するのに、有用であろう。しかし、既存の観測網データで十分であるかどうかを確かめる必要がある。同様に、古気

候の復元からも気候モデルの妥当性を検証するためのデータが得られるものと期待される。

4. あとがき

第2章と第3章はWCRP分科会および世界気候小委員会の討議によってまとめられたWCRP計画の提案からの抜粋である。今後同分科会と小委員会を中心に大学および各省庁の研究機関の計画案が作成され、日本学術会議総会および測地学審議会の審議を経て、1986年から発足するスケジュールが考えられる。

Tsuruhei Yagi・第1研究部異常気候防災研究室

国立防災科学技術センターの動き

● 深層地殻活動観測井の大洗浄

深層地殻活動観測井の坑底に沈殿し、観測装置の設置に悪影響を与える沈殿物を除去するため、深層観測井では完成5年後に大洗浄と称する沈殿物除去作業を行っている。方法は観測装置を引上げて観測井を覆っている捲上塔などの地上施設を撤去し、掘削機によりチュービング（鉄管）を坑底まで通し、清水を圧入して坑内の沈殿物を排出するものである。岩槻観測井では昭和51年度に実施し、主に掘削泥、セメント片から成る沈殿物を除去し、その後の観測は良好である。57年度には、52年度に完成した下総観測井の洗浄を行った。作業は57年12月より始まり、約1 m³の沈殿物を除去し、坑内水の入れかえを行った。観測再開は58年3月になる。

● 昭和57年度防災技術セミナー

国際技術協力の一環として行っている防災技術セミナーは、今年、6年目を迎え、気象・洪水等の災害を対象に、昭和57年10月1日から12月13日までの間、フィリッピン、タイ、インドネシア、マレーシア、ユーゴスラビア、ナイジェリア6カ国10人の研修生が参加して行われた。

農業用トラクターをベースとしたロータリ除雪車の実用化

栗 山 弘

まえがき

雪害対策特別研究「生活関連雪害防止技術の開発研究」のなかの小研究課題である、「集雪装置に関する研究」の成果をもとにして、農業用トラクターをベースにした、狹隘道路用ロータリ除雪車を開発した。これは現在広く普及し、冬期休止する農業用トラクターを活用し、ともすれば高価になりがちなロータリ除雪車を、安価に製作することをねらったものである。実用化されたロータリ除雪車は、歩道その他の狹隘部の除雪車、園芸用除雪車として、十分な性能を有することが実証された。価格も低廉で、膨張する市町村の除雪費の低減、積雪地域の農業の経営改善に寄与できる

ことが明らかになった。以下にその概要を述べてみる。

1. 農業用トラクターの利用

(1) 農業用トラクターを利用する理由

わが国の除雪道路の延長は、昭和56年度で約85700km（日本建設機械化協会 1981）で、うち98%以上が機械による除雪で、2%弱が地下水利用の散水融雪等である。動員される除雪機械は1万台以上と推定されている。道路除雪を機械除雪に依存する理由は、機械除雪の除雪費用（機械の償却費、運転・管理経費の合計額）が融雪方式より安く、エネルギー消費が少ないためである。

機械除雪の経費が安いといっても、56年豪雪で

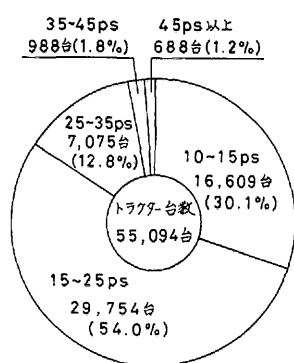


図1 新潟県における農業用トラクターの馬力別普及状況
(昭和55年11月1日現在新潟県経済連調べ)

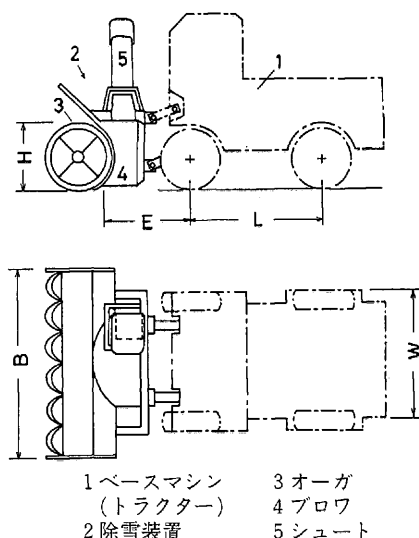


図2 ロータリ除雪車の一般形状

道路除雪の主役をなした幹線用ロータリ除雪車〔エンジン出力200PS級(SI単位系で約150kW)〕の価格は、1台2000万円以上もする。これでは幹線道路はともかく、市町村道のすべてに、この種の高価な機械を導入することは、財政上無理であろう。というわけで、除雪担当機関は価格の安い除雪機械を強く求めている。

安価な除雪機械を得るには、量販機材を利用することと冬期遊休する機材を活用すること、などが考えられる。雪害実験研究所では、これらの条件を満たす機械として農業用トラクターに着目し、これをベースマシンとしたロータリ除雪車を開発した。

農業用トラクターは現在図1に示すように、広く分布し利用されている。積雪期に休止するトラクターを利用できれば、遊休機材の活用と除雪経費の低減の、いわば一石二鳥の得策となる。

(2) 農業用トラクターのベースマシンとしての適応性

ロータリ除雪車の一般形は、図2に示されるように、ベースマシンの前方に、ロータリ除雪装置(以下ロータリ装置と略称する)が装着されている。

動力は走るための走行動力と、積雪を破碎し飛ばすための除雪動力の、二系統が必要である。農業用トラクターにも二系統の動力機構がある。さらに最近の農業用トラクターには、4WD(4つの車輪に動力を伝えて走る方式)式のものが増加している。4WDは走行抵抗の大きい、積雪路面を走る除雪車には、不可欠の装備である。このように農業用トラクターは除雪車に適しているが、不適な面もある。

その一は、農業用トラクターの前輪は、荷重を支える能力が小さいことである。したがって前方に取付けるロータリ装置の重量を、前輪が負担できる程度に軽くしなければならない。後輪は大きい、ここにロータリ装置を取付けたのでは、後向きの除雪作業となり長時間の運転ができない。

その二は、エンジンの出力が小さいことである。耕運作業は土の掘起し破碎が主であるので、小さい出力のエンジンでよい。ロータリ除雪は破碎した雪を、さらに遠方に飛ばすので大きい出力のエンジンが望ましい。

農業用トラクターを利用するロータリ除雪車の

開発には、以上の二つの問題の解決、すなわちロータリ装置の軽量化と、動力不足を補うための除雪性能の向上が必要である。それらは次のようにしてなされた。

2. ロータリ装置の軽量化

自動車の前輪の前方に物体(重さG)を取付けると、前輪の荷重が増すことになる。前輪中心と物体の重心の距離をE、自動車のホイールベース(前後輪の中心距離)をLとすると、前輪(一輪)の増加荷重 ΔM は(1)式のようになる。

$$\Delta M = \frac{1}{2} \left(G + \frac{E \cdot G}{L} \right) \quad (1)$$

農業用トラクターの前方に除雪装置を取付けたときの前輪荷重の増加も同様となる。

前輪荷重の増加量を小さくするには、(1)式からGとEを小さくすればよいこととなる。

今回の研究開発では、エンジンもある程度強力で、普及台数も多いこと(図1参照)を考慮して、30PS級トラクターをベースマシンに選定した。種々検討の結果、30PS級トラクターの除雪装置として、実用性を損わない軽量化の限度のスペックで、除雪幅1.7m(ベースマシンの幅は1.5mである)、除雪高0.7mに決定した。

道路運送車両法では、全幅1.7m以下の車輛は小型特殊自動車となり、自動車としての登録事務が簡単で、普通免許でも運転が可能である。ということは、管理運用が容易で実用面で非常に有利である。

歩道除雪で除雪幅1.7mがとれれば、歩行者は身体をよじらせなくてすれちがうことができる。ということで除雪1.7mは実用上合格となる。

除雪高は多雪地での使用を考慮すると0.7m以上は必要である。30PSのエンジンで実行できる除雪量は、研究の成果から1時間150tと見積られる(対象雪密度 0.3 g/cm^3)。除雪断面積を 1.2 m^2 (0.7×1.7)とすると1時間の除雪距離は約420mが見込め、実用上問題はない。

除雪幅(B)1.7m、除雪高(H)0.7mの除雪装置のアスペクト比(形状比、B/H)は2.43となり、幹線用ロータリ除雪車の1.8~2.0より大きく、やや横長となる。

3. ロータリ装置重心と前輪中心距離(E)の短縮

Eを小さくするには、ロータリ装置の奥行を小さくすればよい。現用のロータリ除雪車では、オーガ（雪を切削する部分）とブロワ（雪を飛ばす部分）は、図2に示すように前後に並び、回転軸が異なっている。これを1本の回転軸上に配置すれば図2で示すブロワ（4）の奥行だけEを小さくできる。この方式はワンステージオーガブロワ式ロータリ除雪装置と称し（栗山・野原・小林，1981），概念図を図3（b）に示す。今回この方式を採用した。

ワンステージオーガブロワ式にすることによって、Eの短縮と同時に、使用部材が少なくなるので、軽量化も達成でき、(1)式で示されるΔMの低減に相乗効果がある。

4. 除雪性能の向上

除雪能力はおおむねエンジンの大きさに比例して増加する。小さいエンジンで除雪能力を増すには、除雪性能を向上させなければならない。図3（a）に示す現用のツーステージロータリ装置では、オーガの回転速さは、ブロワのその1/3程度である。図3（b）のワンステージオーガブロワ式では、オーガ、ブロワとも同じ回転速さである。オーガの積雪破碎抵抗は、雪質、積雪の強度、オーガの回転速さ、オーガの傾斜角などによって変化する。これまでの研究から、オーガの回転速さを増すと、積雪の示す抵抗は増加し、オーガの傾斜角を大きくすると抵抗は減少することが判明した。

結論として、ワンステージオーガブロワ式で、

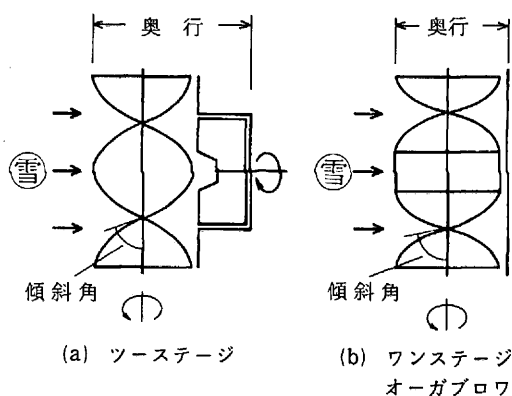


図3 ロータリ除雪装置の概念図

オーガの回転速度の増加による雪破碎抵抗の増加を、オーガの傾斜角を $60\sim 65^\circ$ にすることによってキャンセルし、除雪性能を向上させた。ちなみに現用のツーステージ式のオーガのそれは $55\sim 60^\circ$ である。

5. 基本仕様から実用機へ

以上概説した研究成果により開発した、30PS級農業用トラクターをベースマシンとした、ワンステージオーガブロワ式ロータリ除雪車の基本形を図4に示す。基本仕様は、除雪幅1.7m、除雪高0.7m、オーガ・ブロワの直径0.7m、オーガの傾斜角 $60\sim 65^\circ$ 、全長約4.3m（トラクターの型式により差がある）である。

ワンステージオーガブロワ式の前輪荷重低減効果は、ツーステージ式と比較して、ロータリ装置の重さは、70kg軽減されて440kgに、奥行は0.2m短縮されて0.9mに、前輪荷重は75kg軽減され

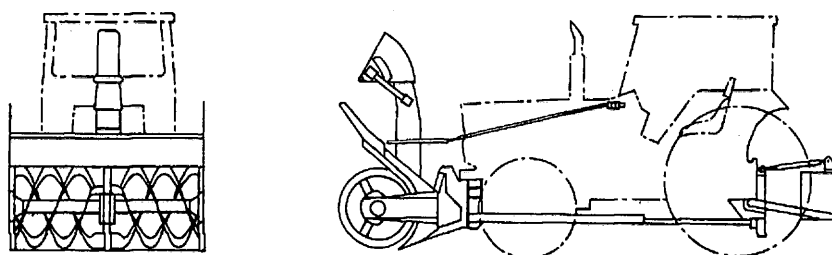


図4 新規開発した農業用トラクターベースのロータリ除雪車の基本形

表1 ロータリ除雪車の時間当使用費率

耐用年数 (N)	年間運転 時 間 (H)	償却費率 (R)	修理費率 (M)	年間機械 管理費率 (C)	時 間 当 使用費率 (E)
8 年	300 時間	90 %	43 %	7 %	0.083 %

$$E = \frac{R}{N \cdot H} + \frac{C}{H} + \frac{M}{N \cdot H}$$

時間当使用料=購入価格×E

て700kgとなり、前輪荷重低減の目的は達成された。しかしそれでも前輪許容荷重を少しオーバーするので、1ランク上規格の車輪と交換することとした。

この基本設計をもとに、北陸地方建設局が実用機を製作し、去る3月10日に新潟県内の市町村除雪担当者を集めて性能試験を実施した(写真1)。性能試験の結果はエンジン出力1PS、1時間当り除雪量5t/PS・h(密度0.35g/cm³ ざらめ雪)と、幹線用ロータリ除雪車に近い性能を発揮できることが確認された。この除雪車は、今後逐次、歩道や生活道路の除雪車として、実作業に導入される計画である。

6. 農業用トラクターベースのロータリ除雪車の経済性

開発されたロータリ除雪車が、目的どおり専用ロータリ除雪車より安価かどうか、検討してみよう。

乗車操縦式の専用形30PS級ロータリ除雪車の市販価格は形成されていないので、既存のものから価格を推定すると、エンジン出力の価格はおおむね直線関係にあることから、専用形30PS級の価格は540万円と推定される。開発されたロータリ除雪車は、ベースの農業用トラクターの新品価格が220万円、ロータリ装置は量産化されると、200万円と見込めるので、全体として420万円となる。

冬期休止する農業用トラクターを利用する場合は、夏期と冬期の使用分担をそれぞれ50%とすれば、ロータリ除雪車としての価格は310万円(200+220/2)となり、専用機の540万円の57%で済むことになる。



写真1 新規開発ロータリ除雪車の除雪試験

一般に機械や設備を用いて除雪の経費は、機械・設備の償却費、修理費、管理費、燃料・電力費、労力費の合計額で算出される。このうち前三者の合計額を機械使用費として扱う。ロータリ除雪車の1時間当りの使用費は公道除雪費の積算基準(日本建設機械化協会, 1981)に準拠すると購入価格の0.083%(表1参照)となる。これから専用30PSロータリ除雪車の1時間当り機械経費は4480円、農業用トラクターベースロータリ除雪車のそれは2570円となり、除雪経費が相当軽減される。安価な除雪機械の開発の目的が達成されるわけである。

あとがき

冬期休止する農業用トラクターを有効利用して、ロータリ除雪車を安価に製作することが可能となり、今後広く使われる見込みである。

ロータリ除雪車を新規に開発する場合は、ロータリ装置を開発し、その除雪特性に適応する。ベースマシンを設計するのが、一般的な方法である

が、今回は既存の農業用トラクターをベースマシンとしたため、開発設計の順序が逆になっている。したがって実際の使用にあたっては、農業用トラクターの特性に適合する使用上のノウハウを蓄積し、効率的な機械の運用をはからなければならない。

また今後の研究課題としては、除雪における省エネルギー化につながる、雪と機器部材の間の摩擦や、雪塊同士の相互作用による、損失エネルギーの低減、ERPなどの軽量強化材の使用などがある。

おわりに、この研究成果をもとに、実用機製作の労をとられた、建設省北陸技術事務所、中邨脩副所長、小越富夫建設専門官、高橋修平機械設計係長に謝意を表します。また本文をまとめるにあたり、雪害実験研究所野原以佐武第三研究室長の

助力をいただいたことを記して謝意を表します。

引用文献

- 1) 栗山弘・野原以佐武・小林俊市(1981): 量販車輛をベースマシンとしたロータリ除雪車の設計上の問題点(農業用トラクターベースの場合), 第6回雪害防災研究発表会(56年12月)予稿集, 26—31。
- 2) 日本建設機械化協会(1981): 新道路除雪ハンドブック, 234—235。
- 3) 日本建設機械化協会(1981): 建設機械等損料算定表(昭和56年版), 272—273。

Hiroshi Kuriyama・雪害実験研究所

科学技術週間施設一般公開のお知らせ

昭和58年度科学技術週間行事の一環として、当センターでは本所、3支所及び府中地殻活動観測施設を下記のとおり公開します。多数ご来所下さるようご案内いたします。

場 所	日 時	内 容
本所(筑波研究学園都市:茨城県新治郡桜村) 問い合わせ先 0298(51)1611	4月22日(金) 10時～16時	・スライド ・大型耐震実験施設・大型降雨実験施設公開
雪害実験研究所 (新潟県長岡市) 問い合わせ先 0258(35)7521	4月22日(金) 10時～16時	・研究施設公開 (1) 低温実験施設 (2) 自然エネルギー利用による屋根雪融雪実験施設
平塚支所(神奈川県平塚市) 問い合わせ先 0463(32)7159	4月22日(金) 10時～16時	・研究施設の紹介
新庄支所(山形県新庄市) 問い合わせ先 02332(2)7551	4月22日(金) 10時～16時	・映画「支所の紹介」他 (1) 低温実験施設
府中地殻活動観測施設(東京都府中市) 問い合わせ先 0298(51)1611	4月19日(火) 11時～15時	・地震予知研究の成果の紹介

U S G S の地震予知活動

松 村 正 三

1. はじめに

U. S. Geological Survey (U S G S ; アメリカ合衆国地質調査所) には、これまでに当センターから私を含めて4人が在外研究員として滞在しており、U J N R (; 天然資源の開発利用に関する日米会議) でのつながりも含めて海外にある研究機関の中では当センターともっとも縁の深い存在ではないかと思われます。そのために組織や仕事の内容についても既にいくつかの紹介がなされ御

存知の方も多いと思われますが、ここでは私が一年間滞在した地震部門(OES ; Office of Earthquake Studies) についてその活動の一端を紹介させていただきます。

U S G S 全体は国土庁とでも呼ぶべき大きな組織で、8000人の人員と8億ドルの予算を抱え、連邦政府直轄の地球科学研究機関として資源調査から地震予知に至るまでの幅広い業務に関わっている。図1の組織図によると実施部門は4つのDi-

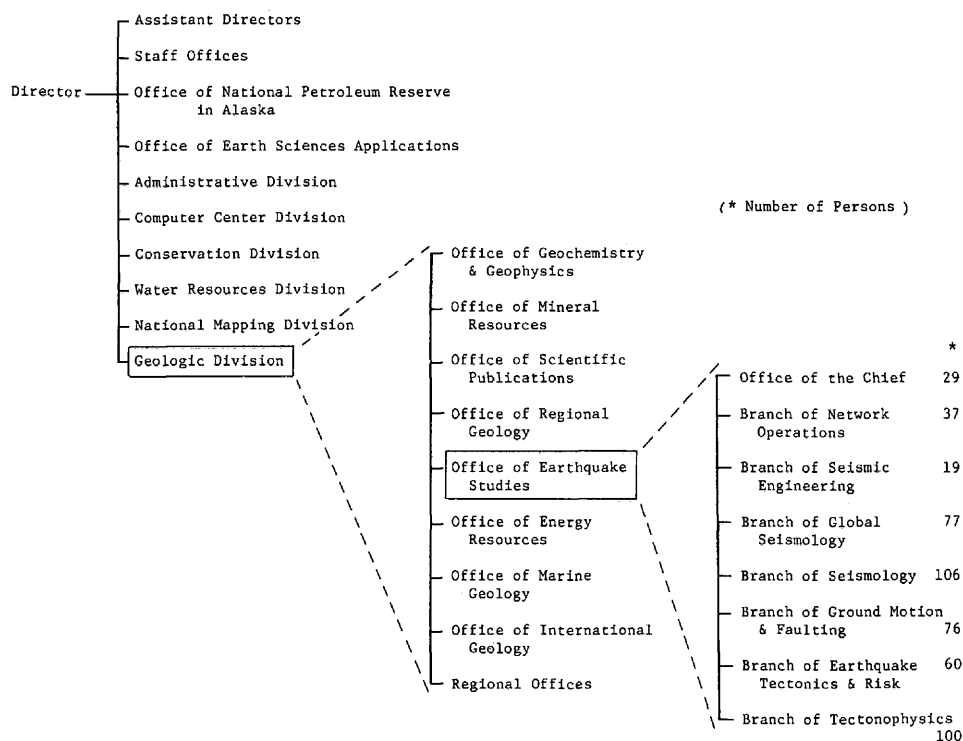


図1 U S G S 組織図 (1981 U S G S Circular より)

vision (Conservation, Water Resources, National Mapping, Geologic) から成る。OESはその中のGeologic Divisionに属し、さらに7つのBranchに分けられる。この内の5つのBranchがアメリカ西部担当の本部であるカリフォルニア州メンロパークに置かれており、関係職員の数300人を越える。当センター第2研究部の30人と比較してもその規模の大きさが知れるが、まさしくアメリカにおける地震防災の中枢と言えよう。そしてここでの観測と研究の大半はサンアンドレアス断層に集注されるのである。

2. サンアンドレアス断層

「地と海の信じられぬまでの豊穡によって、この「黄金州」のGNPは自由世界六位の実力がある」(文芸春秋社刊「くりま」)と書かれる程に自然に恵まれたカリフォルニア州であるが、この州のほとんど唯一とも言える大きなマイナスがサンアンドレアス断層である。この世界でもっとも有名な断層は、北米プレートと太平洋プレートを境とする右横ずれのトランスフォーム断層であり、図2に示されたようにサンフランシスコの北方200kmのメンドシノ岬から上陸しカリフォルニア州を縦断してカリフォルニア湾に至る。図のA及びCの太線はそれぞれ1906年のSan Francisco地震と1857年のFort Tejon地震での破壊領域である。平均的なプレートのスリップレートと地震時のスリップ量から同規模の地震の再来周期は約150年と見積られている。これが正しければサンフランシスコはまだ数十年の余裕を持つが、ロス近辺は既に注意期間に入ったということになる。一方、中間のB領域ではM6以上の大きな地震はほとんど観測されず、対照的に微小地震活動は非常に活発である。そしてここではクリープと呼ばれる定常的な断層のずれ運動が観測され、その量は中央部で三十数mm/年に達する。この地域での断層をまたぐ3辺測量(Trilateration)による相対的なプレートのスリップレートとクリープメーター(Creepmeter)によって観測されるクリープ量とがほぼ一致することから、ここでは歪みの大部分がクリープによって解消され、結局大地震が起こることはないだろう、というのが多くの意見である。このようなクリープの起こる理由については、

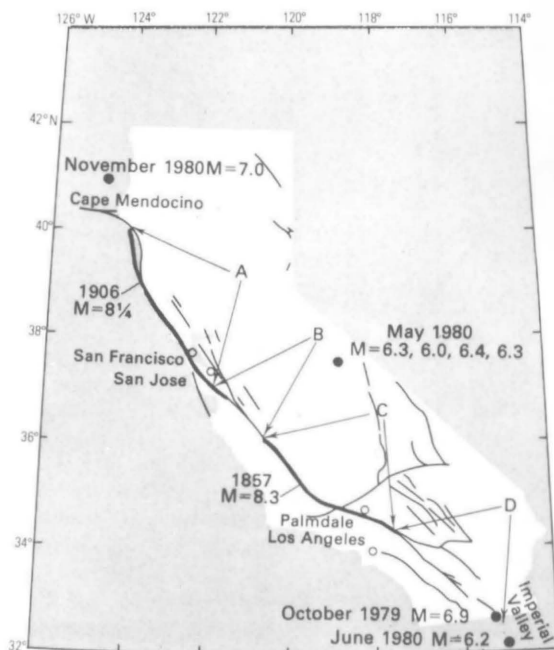


図2 カリフォルニアの断層、太線は2個の巨大地震による破壊領域(1981 USGS Circularより)



写真1 サンアンドレアス断層。サンフランシスコとロスの間、Carrizo Plainで1500mの上空から撮影。右から左へかけて南東―北西の走向になる。後方の山はTembler Range、この付近は年間雨量10インチ以下で地形がよく保存されている。(1982.8撮影)

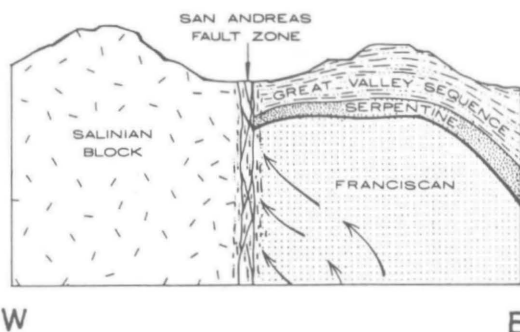


図3 クリープ領域の地質断面図(W. P. Irwin & I. Barnes, Geology, 1975より)

例えば地質構造の特異性に帰した解釈がある。図3はこの地域の断面図であるが、断層東側下部のフランシスカン変成岩から排出された水が上部の不透水層に抑えられ断層域の破碎帯に浸み出した結果、この部分での滑りを促しているのであろう、という説である。又、この地域ではほぼ直線状である断層の走向がクリープ領域の南北両端で共に（B領域から見て）左側にゆるいカーブを描いている。右横ずれ断層の場合はこのカーブはちょうどずれの進行を阻むことになり、断層はロックされると考えられている。奇しくもアメリカを代表

する2大都市圏がここに位置し、巨大地震の脅威にさらされることになるわけである。

このようにカリフォルニアでの地震活動はサンアンドレアス断層との関係が明瞭であり、地震予知のためにはとりもなおさず断層運動の監視が重要ということになる。

3. U S G Sにおける地殻活動観測

表1は地震災害軽減計画に基づいて行われている観測を集計したものである。観測実施機関は大

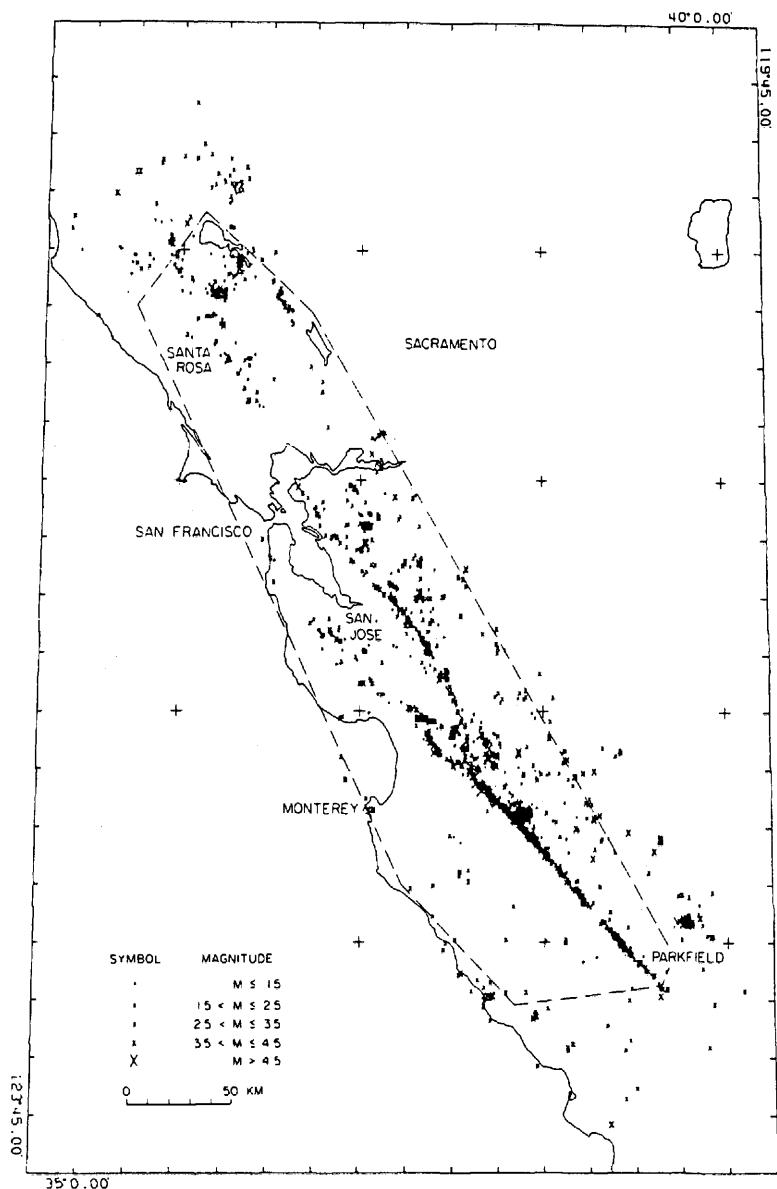


図4 1976年の震央分布図（U S G Sのプレティンより）

学・会社を含めて10以上にわたるが、USGSはほとんどの項目に名を連ね、観測規模、連続監視の実施状況からみてもカリフォルニアでの地震予知のための監視体制を一手に担っているという過言ではない。観測項目は大きく微小地震とその他（長周期データ）に分けられる。Magnetometer は地殻応力による岩石の帯磁変化を検出しようというものである。Water Well では地下水位の他、塩分、各種イオン濃度、電気伝導度、温度、pH等を測定している。Alignmentはクリープを見定めるためのもので、断層域を挟んで数百mの中内に並べて打たれた杭の年々ずれていく様を測量するものである。これを連続監視できるようにしたものがCreepmeterで、断層を横切って斜め30度の方向に20m長のアンバーワイヤを張り、一端を固定し、他端には錘と計測用のマイクロメーターを取り付ける。これによってクリープは必ずしも滑らかではなく、ギクシャクしていること（Episodic Creep）、長期的に見ても速さが変化する場合があり、遅くなった時は要注意であることなどが解明されている。最近ではヘイワード断層のクリープが遅くなっていると指摘された例がある。微小地震観測は観測点数を見てわかる通り、その稠密度は圧倒的であり、観測は三十数人から成る1つのBranchによって維持されている。図

4は1976年のプレティンによる震央分布図であるが、断層線が見事に浮き出ている。この辺りはアメリカでもっとも地震活動の活発な地域ではあるが、1971年～80年の10年間に観測されたM4以上の地震数は約60である。これに対して関東・東海にかけて同程度の広がりを持つ防災センターの観測網の場合、1981年だけで4以上の地震数は64と、サイスミンシティはざっと10倍の差がある。一方、処理するデータ量では両者とも同じく、地震波の読み取り数にして年間約10万といったところである。

データ処理の流れは図5のとおりである。地震データについてはまだアナログ記録が主流である。連続撮影された16mmフィルムを投影機にかけ、ディジタイザーで読み取ったデータをもとに震源決定がなされる。結果は発破であるかどうかなど何通りかのチェックの後ディスクにファイルされ一般の利用に供される。この過程は1983年中には計算機によってシステム化される予定で現在その作業が進行中である。システムの原形は表1のCarl Johnson氏の設計になるもので、Kinematics社から製品化したものさえ発表されている。中国でも同じシステムを導入することであり、ちょうど同じ時期に4人の技術者が滞在しており、さまざまな情報を交換することができた。これと

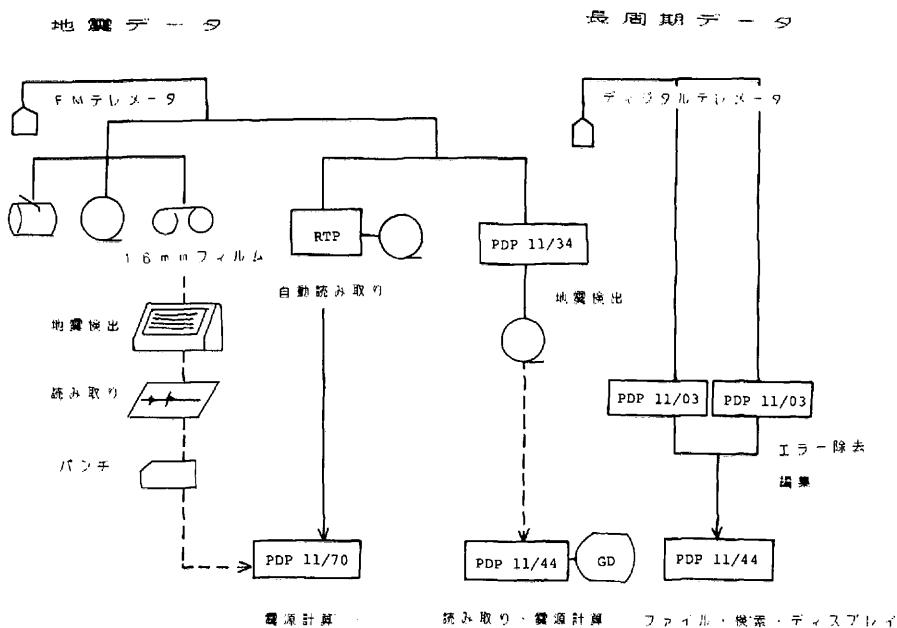


図5 データ処理の流れ

表1 カリフォルニアの地殻活動観測 (T.R. Rodriguez & C.B. Raleigh, 1981より)

Instrument	Principal Investigator		Number of Stations	Continuous Monitoring
Strainmeter	USGS	Malcom Johnston	27	yes
	USC	Ta-Liang Teng	1	yes
	LA-DO	Roger Bilham	1	
	SCRPS	Frank Wyatt	1	yes
	LA	Bruce Clark	8	
Two Colour				
Laser	USGS	Arthur McGarr	2 networks	
Tiltmeter	USGS	Carl Mortensen	55	yes
Dry Tilt	UCSB	Arthur Sylvester	46	
Alignment	USGS	Robert Burford	25	
	CIT	Clarence Allen	24	
	SFS	Joh Galehouse	18	
Creepmeter	USGS	Gary Mavko	46	yes
	CIT	Clarence Allen	8	in part
Level	UCSB	Arthur Sylvester	25	
Trilateration	USGS	James Savage	660	
Gravity	USGS	Robert Jachens	312	
	ESE	John Fett	229	
Magnetometer (Portable) (Survey)	USGS	Malcom Johnston	26	yes
	USGS		61	
	USGS		131	
Water Well	LAM	Donald Lamer & Paul Merifield	31	
	USGS	Chi-Yu King	16	in part
	USC	Ta-Liang Teng	9	yes
Well Radon	CIT	Mark Shapiro	9	yes
	USC	Ta-Liang Teng	7	in part
	SCRPS	Yu-Chia Chung	14	
	USGS	Chi-Yu King	20	in part
Soil Radon	BU&T	Michael Reimer	17	
	USGS/SCRPS		6	
	USGS	Chi-Yu King	102	
Resistivity	MIT	Theodore Madden	16	
Seismometer	USGS	Jerry Eaton	437	yes
	CIT/USGS	Carl Johnson	137	yes
	USC	Ta-Liang Teng	22	yes

** Abbreviations **

BU&T	Branch of Uranium & Thorium Resources, USGS, Denver, CO
CIT	California Inst. of Technology, Pasadena, CA
ESE	Earth Science & Engineering, Inc., Hemet, CA
LA	Leighton & Associates, Inc., Irvine, CA
LA-DO	Lamont-Doherty Geological Observatory, Palisades, NY
LAM	Lamer-Merifield, Geologists, Santa Monica, CA
MIT	Massachusetts Inst. of Technology, Cambridge, MA
SCRPS	Scripps Inst. of Oceanography, La Jolla, CA
SFS	San Francisco State University, San Francisco, CA
UCSB	University of California, Santa Barbara, CA
USC	University of Southern California, Los Angeles, CA
USGS	U.S. Geological Survey, Menlo Park, CA

併行して自動処理システム (RTP: Real Time Processor)がRex Allen氏により開発されており、こちらの方は地震発生より数分の遅れで震源決定

の速報を出力している。クリープをはじめ長周期のデータは10分間に1度の割合で一括してオンライン計算機に取り込まれ、ノイズ除去を施したあ

とファイルされる。

このようなデータ収集のシステムが有効に活用されるかどうかは、ひとつにはデータの利用者がいかに自由にファイル内のデータを覗けるかということにかかっている。PDP11/70で使用されたOS（UNIX）は評判の良いもので、事実、初歩の手ほどきを少し受ただけでファイル間のデータの出し入れ、修正、編集などがほぼ自由に行えるようになったものである。加えてハード面での設備投資もかなりなもので、共用として使える端末の他に多くの研究者は自室に専用のTSS端末を引き込んでいたといった状態である。

4. データ検討会

渡米してまだ日の浅い1981年12月初め、地震予知部門のプログラムコーディネーターであるJames Dieterich氏から地震予知ワーキンググループを作ろうという呼びかけがなされた。そこに掲げられた趣旨は、

1) カリフォルニアにおける地震予知に関する観測データのレビューを行うこと。異なった観測項目ごとのデータを並列化し、複数の人間或いはグループで議論することで偏りのない評価を下すこと。

2) データの有効利用を計るため、経験的或いは理論的に提案されている地震予知手法の適用を組織的に実行すること。

3) プロジェクトごとの研究単位を越えて、地震予知に関連する活動の方針について組織的統制的な議論の場を確保すること。

である。こうして12月15日に第1回の会合が持たれた。出席者は35人（その後、定例メンバーは50人余りになった）でデータレビューの形式などについて活発な議論がなされた。データ表示は、会議室の両壁面を利用し、30mm/月のスケールで1970年代からのあらゆる観測データを並列に並べたものである（写真2）。M5以上の地震が起きた位置には錘をつけた赤糸を垂らし、地震と同期した変化、或いは前兆的な動きがあれば一目で見とれるように工夫されている。この表示は同じ場所に継続的になされ、頻繁に目に触れることになる。そのため初めはなじみのなかったデータでも、いつの間にかその動きを把握してしまうとい

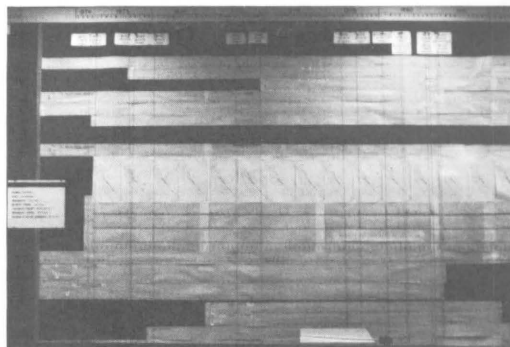


写真2 会議室の展示データ

うわけで、個々のデータをファイルしてしまっておくやり方よりも優れている。彼らはこの類のディスプレイが大変好きようで、室内外を問わず少しでも空間のある場所は地図や観測結果のグラフによって埋め尽されている。

この会合はその後、月に1度の定例となり、毎回の活発な議論の結果を報告書にまとめようという案も提出されている（その際モデルとなったのは日本の赤表紙の地震予知連絡会報であった）。

5. おわりに

USGSにおいても、地震予知を目ざしてますます業務化の色あいを強めていく観測と基礎研究とのバランスをどこにとるかで葛藤や議論が生じていると聞きました。その方向がどのように選択されるにせよUSGSがアメリカの地震予知活動の中核であることには変わりなく、そこから私達が学ぶべきことも数多いと思われます。

文字通り公園の中にある都市といった感じのメンロパークに落ち着いた雰囲気であらずむUSGS。多くの友人と思い出ができましたが、いろいろな事で御面倒をおかけしたチーフのDavid Hill氏、若くしてチーフに就任したWilliam Ellsworth氏、専門領域を越えて示唆に富んだ助言を頂いたWillie Lee氏、家族ぐるみでお世話になったElsieさん他、数多くのGSの方々に本当に感謝致します。又、こうした機会を下され、協力頂いた方々に感謝の意を表して稿を終りといたします。

Shozo Matsumura ・第2 研究部地震活動研究室

防災科学技術

No. 48

昭和58年3月28日 印刷

昭和58年3月30日 発行

編集兼
発行人 国立防災科学技術センター
茨城県新治郡桜村天王台3丁目
TEL (0298) 51-1611(代)

印刷 前田印刷株式会社
