

共同観測事例

Cooperative strong motion observations in Japan

片岡俊一*

Shunichi Kataoka

In this paper, I outline three being operated cooperative strong motion observations in Japan. The first one has been operated by the building research institute, Ministry of construction, general construction companies and architectural design companies. They developed eleven stations at different ground conditions in Sendai area. Their each station has three three-component seismometer at the surface and in the ground. The second one has been operated by the committee of earthquake observation and research in the Kansai Area. Prof. Toki of Kyoto university is the chairman of the committee and the Geo-Research institute, Osaka plays as secretary. They has been installed ten velocity type seismometers around Osaka area. The third one is the cooperative strong motion observation in Kushiro city which is controlled by the research group on strong motion observations, ESG Research committee. Member of the committee has been installed their own seismometer at 23 stations in Kushiro city.

1. はじめに

本シンポジウムおよび本小委員会の主な目的は、多数の機関で得られた多くの記録をどのように共同利用するのかを議論することと考えられる。しかしながら、一方ではある特定の目的がある、あるいは短期間に観測網を整備したい、さらには費用の問題、等から多くの機関が集まって共同で地震観測を行なっている例がある。このような共同観測の動きをここで整理しておくことは、強震観測の在り方から始まりデータ公開の詳細な方法に至るまでの広い範囲で有効であると考えられる。そこで、次に示す3つの大規模な観測をここでは紹介したい。具体的には、建設省建築研究所と民間企業が共同で行なっている高密度強震観測事業（仙台アレー）、（財）大阪土質試験所が事務局をしている関西地震観測研究協議会、（財）震災予防協会内にあるESG委員会を母体とした釧路ESG共同地震観測である。

従来も、観測事例の紹介として大規模な観測を紹介した例は多い[例えばKudo and Tanaka(1993)]。ここでは、観測の概要を紹介するのは勿論であるが、シンポジウムの主題に沿い、今後の強震観測の在り方やデータ公開の在り方等についても、各観測の現状を踏まえ私見を述べて見たい。

2. 共同観測事例の概要

各共同観測では、その概要を学会などに発表しているが、筆者の判断の誤りを防ぐために、以下のような内容の設問を後述する各位に送付し、お答え願った。なお、共同観測を紹介した文献を参考文献に挙げておく。

- (1)共同観測の目的
- (2)観測の概要
- (3)組織、参加機関数、代表的な機関名
- (4)参加資格

(5)参加の方法

- (6)オリジナルデータの保管方法（担当機関、媒体等）
- (7)参加メンバーへの配付するデータの選別の有無と選別条件
- (8)データ配付時のデータフォーマットと媒体
- (9)データのグループ外への提供についての基本的な考え方

さらに、お答え願った各位は、強震観測に深く携わられていることから、

- (10)将来の共同強震観測あるいはデータベース開発のあるべき姿に関してコメント

をお願いした。

このうち、目的と概要を以下にまとめ、それ以外の設問の答えを、Table 1に示す。

2.1 高密度強震観測事業 [回答者：北川良和（建設省建築研究所国際地震工学部部長）]

1983年（昭和58年）から仙台地域を対象とした高密度強震観測が建設省建築研究所により開始された。この観測の目的は、種々の地盤条件下で地震動の同時観測を行なうことにより表層地盤が地震動の特性に与える影響を解明する為の資料を蓄積し、より合理的・経済的な耐震設計法の開発に資することである。1987年（昭和62年）からは新たに民間機関の参加を得て、官民共同体制のもとで観測体制の整備と観測記録の収集を行なっている。

Table 1に示すように、建設省建築研究所と（社）建築研究振興協会の共同研究という形式をとっており、運営委員会を形成して運営しており、回答者は運営委員会の現在の委員長である。

観測システムは、Fig. 1に示す観測局（11局）、制御局（建設省東北地方建設局）および監視局（建設省建築研究所内）で構成されている。地震計は地盤構造より判

*清水建設（株）技術研究所 Institute of Technology, Shimizu Corporation.

断し、地表近く（GL-1m～2m）、地表面下20～40m、50～70mの3箇所各1台（3成分）づつ設置埋設されている。

観測局と制御局とはNTTの専用回線で、制御局と監視局との間はNTTの一般回線で結ばれているが、その間の関係は以下のとおりである。つまり、観測局が地震を感知すると、収録装置を起動するとともに制御局に地震発生を通報する。制御局では常時観測局の状態を監視しており、2局以上の観測局で地震を感知した場合、全ての観測局に対して収録装置の起動を指示する。また、地震終了後各観測局での起動時刻や最大加速度等の情報は制御局を通じて監視局に通報される。監視局は常時待機状態にあり、制御局からの通報を受けてディスプレイとプリンターに出力する。また、監視局から制御局を通じて観測局の起動レベル、サンプル周波数等のパラメータの変更や構成信号の収録指令を行なうことができる。

全観測局の設置が1989年（平成元年）に終了し、当初設定期間は1992年3月までの予定であったが、観測機器の状態も良く、また中程度以上の記録への期待も高いことから、官民共同観測を1995年3月まで延長している。さらに、3年間延長される予定になっている。

2.2 関西地震観測研究協議会 [回答者：香川敬生・岩崎好規（財）大阪土質試験所]

この会では、会員が個々に保有している観測記録の相互利用を計るとともに、新たに共有する高精度地震計を大阪平野とその周辺部計10カ所に設置している。この背景には、京阪神地域は、歴史的には直下型地震を数多く経験しているものの、幸い40年以上も大地震災害を被っておらず、住民の地震防災意識を高めることも目的としてあると思われる。地震記録は会でまとめた上で、

各会員に公開する計画になっており、観測記録を利用した研究内容は会に集められ、ニュース・レターや会が主催するフォーラムにおいて公表される。

この会は、Table 1 に示すように、土岐憲三京都大学教授を座長として、個人会員として大学等の研究者（24名）、賛助会員として行政の防災担当者（9機関）、法人会員としてライフライン・公共交通事業者（5機関）、ゼネコン（7社）、コンサルタント・設計会社（4機関）が参加しており、事務局は財団法人大阪土質試験所におかれている。また、地震計の設置、観測、維持管理も財団法人大阪土質試験所が担当していることから、回答を願った。

観測点は、Fig.2 に示すように大阪平野内と周辺山系に既存の速度型地震計の配置位置を補うように、配置されている。ここで用いている地震計は速度サーボ型強震計であり、地表または地震記録に影響を与えないと考えられる建物の1階に設置されている。収録装置はモデムでNTTの一般回線と結ばれており、以下に述べるようなEWSを用いた自動管理、ポケベルを用いた早期情報伝達など、新しい試みを取り入れている。つまり、EWSは各観測点からの記録終了の自動通報をバックグラウンドジョブで受け付ける。その後、まず全観測点の記録状態を確認して各点の水平最大値情報をポケベルに送信する。この間は1台のモデムで順次アクセスした場合で10分程度である。その後、記録を各観測点から受信しながらプリンタに波形を順次出力してゆく。

この観測は、1994年（平成6年）3月より当面5年間実施する予定になっている。

2.3 釧路ESG共同強震動観測 [回答者：笹谷努（北海道大学理学部）]

この観測は、1993年釧路沖地震の際に、釧路市内で観測

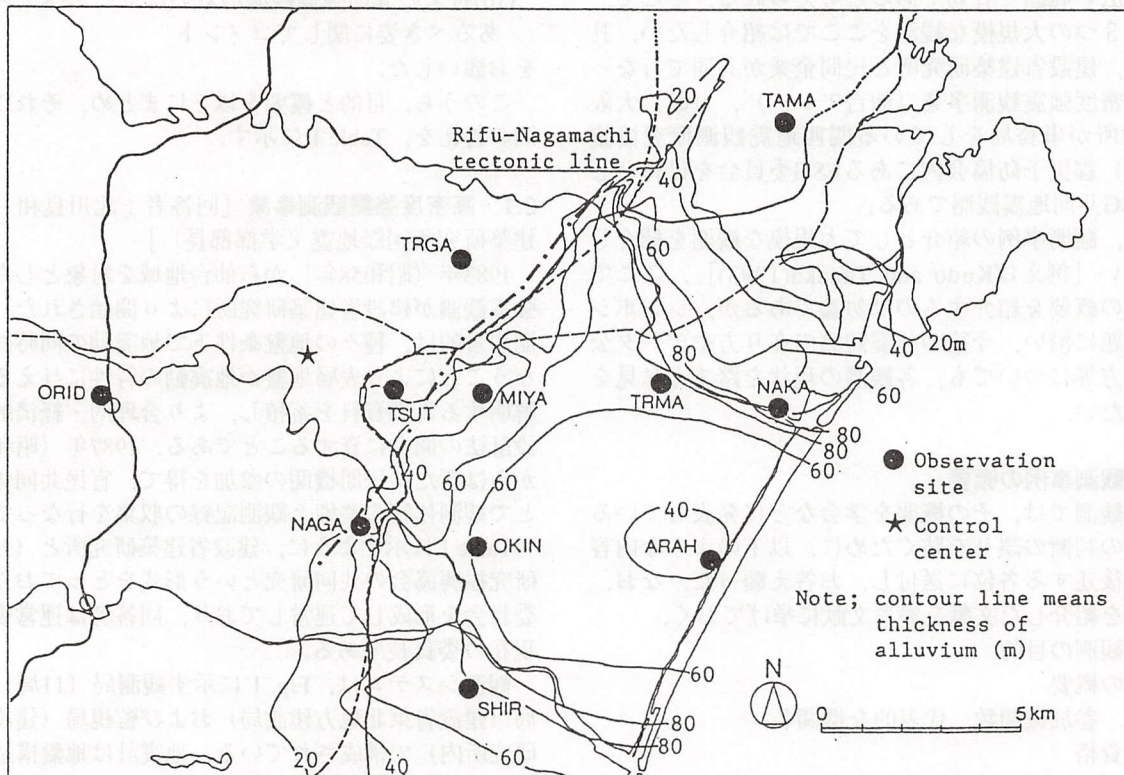


Fig.1 Observation stations of the around Sendai area.

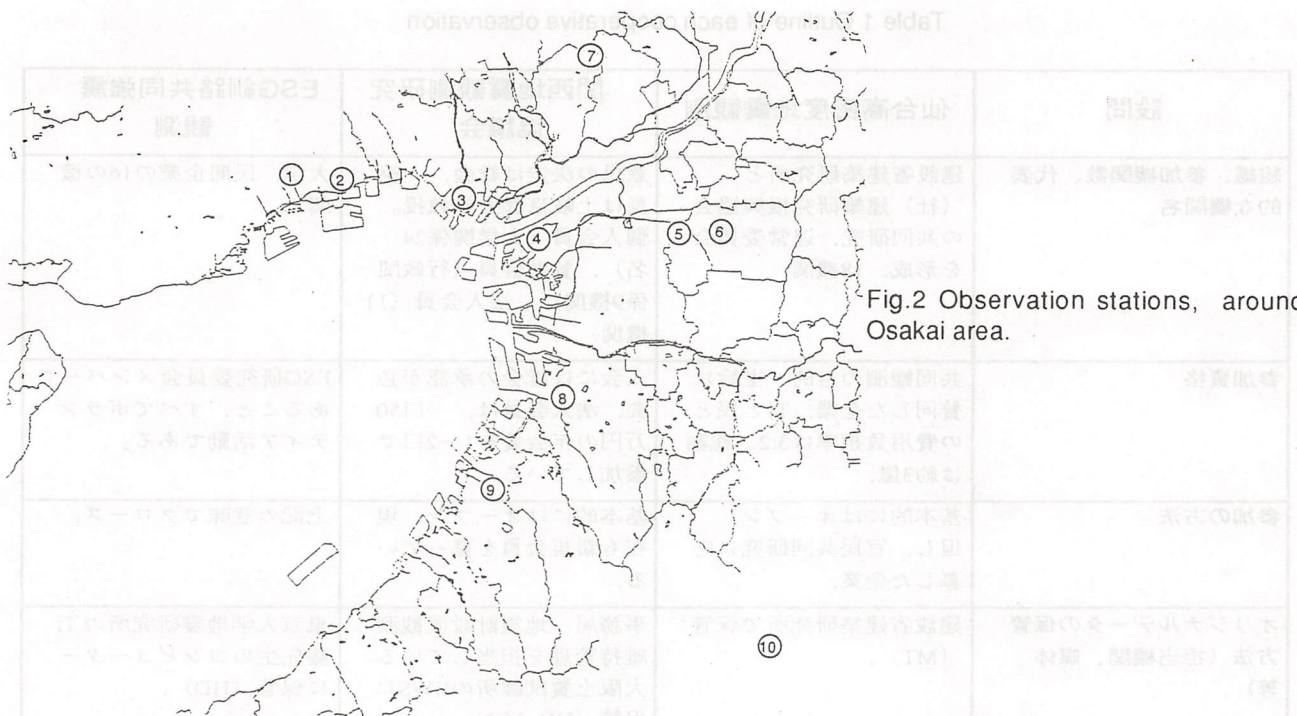


Fig.2 Observation stations, around Osaka area.



ESG研究委員会
釧路市における共同強震動観測

Fig.2 Observation stations, in Kushiro city.

された異常強震動記録の要因を解明することを目的としている。ここで言う異常強震動記録とは、深さ約100kmの震源から見てほぼ同一地点と思われる約10km範囲にある4点の強震計が最大加速度で約3倍(320~919cm/s/s)を観測したことを指している。

このグループは、(財)震災予防協会に設置されているESG(表層地質が地震動に及ぼす影響)研究委員会が母体となっており、参加機関もこの委員会のメンバーで

ある。基本的には、地震計の維持・管理、観測記録の収集を含めて各機関の自主的な作業であるが、委員会との関係から回答者が観測の世話役になっている。

観測点は、Fig.3に示すように、釧路西港の運輸省港湾技術研究所(PHRI)の観測点から高台の気象台(JMA)を結ぶ線を主測線として、全部で23の観測点を配置している。観測点は、参加機関の営業所等設置が容易な場所も考慮して、世話役が設定している。用いている地震計は

Table 1 Outline of each cooperative observation

設問	仙台高密度地震観測	関西地震観測研究協議会	ESG釧路共同強震観測
組織、参加機関数、代表的な機関名	建設省建築研究所と(社)建築研究振興協会の共同研究。運営委員会を形成。18機関。	意思の決定は総会。座長は土岐京都大学教授。個人会員(大学関係24名)、賛助会員(行政関係9機関)、法人会員(11機関)	大学、民間企業の16の機関
参加資格	共同観測の目的・主旨に賛同した企業。官と民との費用負担率は3:2。総額は約3億。	入会には総会の承認が必要。法人会員は、一口50万円の年会費を1~2口で参加している。	ESG研究委員会メンバーであること。すべてボランティア活動である。
参加の方法	基本的にはオープン。但し、官民共同研究に応募した企業。	基本的にはオープン。現在も新規会員を募っている。	上記の意味でクローズ。
オリジナルデータの保管方法(担当機関、媒体等)	建設省建築研究所で保管(MT)。	事務局、地震計設置観測維持管理を担当している大阪土質試験所のEWSに保管(HD, MO)。	東京大学地震研究所の工藤先生のコンピューターに保管(HD)。
参加メンバーへの配布するデータの選別の有無、選別条件	選別をする。基準局の水平成分で10cm/s/sを超えるものをファイル化。	基本的には、全記録の紙出力を全会員に配布。各会員の必要とする記録を提供する。	選別はしない。
データ配布時のデータフォーマット等	独自のフォーマット。媒体はMT。	震災予防協議会強震記録CD-ROMフォーマットに準拠。全会員で読み出しが可能なように、FD(圧縮)の回覧による供給。研究者間には、ネットワークによる供給も検討。	独自のフォーマット。扱いが容易であるという理由で、媒体はFD(圧縮)。
データのグループ外への提供についての基本的な考え方	基準局の水平成分で50cm/s/sを超えるものを、2年後を目標に公開。	紙出力に関しては、会員、非会員にかかわらずオープン。デジタル記録は当面会員間のみ(審議中)	まずは、グループ内での解析を優先し、しかる後に公表する(1年程度の遅れ)。但し、1994年北海道東方沖地震の記録は95年2月に公開する予定。

前述したように、各機関の持ち寄りであるから、同一のものではなく、速度型を用いている観測点が3点、加速度型地震計が20点である。

この観測は、上述した目的の為の臨時観測という位置づけで1993年8月末から2年間の予定でいたところ、1994年北海道東方沖地震の観測に成功し、さらに1994年8月31日の国後島付近(釧路震度V)の地震も多くの観測点で観測できたので、予定を早め1995年3月で終了する。

3. 共同観測でのデータ

3.1 データの配付媒体

本節では、Table 1 に示されている事項の内、データの取り扱いに関して各共同観測を横断的に見て、今後のデータベースに関する内容を考えてみる。

まず、データの配付媒体であるが、仙台アレー(以下、高密度強震観測事業をこう呼ぶ)を除いてはフロッピーディスクを使用していた。これは、参加機関が手軽に使用できる、あるいは取り扱いが簡単であるとの理由からである。ただし、これら2つの観測の観測点が仙台アレーに比べて少ないこと、つまり、仙台アレーでは11観測局に3地点の地震計設置位置があるから、計99成分の地震記録になるのに対して、関西アレー(以下、関西地震観測研究協議会の観測をこう呼ぶ)では10地点3成分で30成分、釧路アレー(以下、釧路ESG共同強震動観測をこう呼ぶ)では23地点3成分の69成分であることを考慮する必要はあろう。

ここで念の為に、1MbyteのFDにどの程度のデータが書き込めるかを確認してみる。A/D変換直後のデータを考えると1Mbyteは、3成分100Hzサンプリングで、取り込み直後のデータを圧縮しないならば、30分弱のデータに対応す

る。例えばこれを5桁の整数で文字表現してデータとしてコンピュータ上で管理すると、データ1点が2byteから5byteに変わるので、2.5倍のファイル長さになる。しかしながら、この整数表現したファイルを、広く用いられているファイル圧縮プログラムにより圧縮すると、筆者が試したところでは（UNIXのcompressコマンドあるいはDOS上のLHA）元のファイルよりやや小さくなった。つまり、A/D変換直後の分かりにくいバイナリ表現でなくとも、1MbyteのFDに100Hzサンプリングのデータを90〔成分・分〕書き込むことが可能である。これを考えると、関西・釧路の両アレーでファイルを圧縮してFDを用いるのも妥当なことと言えよう。

フロッピーディスクの問題点は、枚数が多い場合にコピーが大変なことであるが、FDを用いている2観測とも会員全員に全てを配付することはせず、回覧（関西アレー）、一カ所にまとめて必要な人がコピー（釧路アレー）としていることも、FDを用いるための手段とも考えられる。但し、関西アレーの場合は現在の予定であり、釧路アレーの場合は一般公開前にメンバーが使用する場合での話である。

最近ではコンピュータ環境が急激に変化しており、特に大学関係では所謂オープンMT（1/2" 9track MT）が使用できない所が増えている一方で、これに変わる大容量で読み書きが比較的簡便で、かつ大多数が使用している媒体が見つからない現状である。このような環境では、データ保管担当機関では光磁気ディスク等を用いても、配付に当たってはFDが消去法で最後に残っているであろう。

3.2 データフォーマット

データフォーマットは、関西アレーを除いては独自のフォーマットであるとの回答であった。しかしながら、筆者が判断する限り、地震動時刻歴は文字形式で記述されており、起動時刻やデータ数等時刻歴に関する諸元は時刻歴の前に記載されているといった点では、3者のフォーマットに、大きな違いはないと思われる。（財）震災予防協会の強震動アレー観測記録データベースのように、リレーショナルなデータベースを望まない限り、この程度のフォーマットの差違は仕方がないと考えられる。

4. 今後のありかた

回答された方には非常に申し訳ないが、回答された3氏の意見を挙げ、その意見に対して個人的な意見を述べさせて頂く形で今後の在り方を考えたい。

笹谷は（以下敬称略）、「釧路における観測での最大の問題点は地震計が同一でないこと。また、有効周波数帯域に関連して速度型強震計の方がベター」と述べている。他の2つの共同観測と異なり、各機関が地震計を持ち寄っているため、当然地震計は各機関により異なり、このようなデータを合わせて利用しようとする時、一番特性の悪い地震計の周波数範囲で検討範囲が制限されるのは言うまでも無いことである。これは、例えば共同観測を明確に意図していない当委員会での活動、あるいは今後の強震動に関わるデータベースでは常につきまとう

問題である。これに対しては、当委員会で建築会館の同一地点に設置されている地震計の記録同士を検討した結果〔土肥（1994）〕、および片岡・他（1990）、林・他（1990）の結果を見るかぎり、ある程度の振幅があれば高振動数側は不明であるが、市販の強震計はそのスペックを満たしていると考えられる。

地震時の地動を測定する場合には、速度の方が加速度より振幅の変化が少ないので高い分解能を保持することができること、高い振動数のノイズの影響が少ないこと、等から古くから速度型強震計による観測が主張されている〔村松（1977）〕。また、関西地震観測研究協議会では、速度型地震計の設置を基本としている。更に、直接は関係ないが仙台アレーも加速度では検出しにくい長周期成分を確実に記録するために、収録終了の判断は速度振幅を用いている。確かに、本委員会において共同利用可能とした地震記録についても、速度型地震計によるものも少なくはない。しかしながら、本委員会のメンバーによる観測の殆どは、最終的には構造物の応答計算につながると考えられるので、応答計算の入力として便利な加速度を直接計測した方が、良いことには違いない。速度と加速度との両者を特別なアンプ等を用いずに出力できるセンサーも存在するが〔横井（1992）〕、現在のところ加速度を観測するか速度とするかは目的に応じて決めるべきで、一概にどちらが良いとは言いきれないと思うが、参加者の意見を待ちたい。

香川は、今後の課題として「通信技術を活用した即時データ収集と、コンピュータ・ネットワークを利用した共同観測記録の即時データベース化」を挙げている。これと類似したことは、Kanamori（1992）も即時の強震記録の収集とそれを利用した防災対策として提案している。確かに、現在の多くの強震計は、その巧拙を問わなければモデムを介して電話回線に結ぶことは可能である。関西地震観測研究協議会では転送速度を14,400bpsとしているので、理論的には9成分の100Hzサンプリングの1分間のデータ全てを1分間で送ることが可能であるが、本当に多くの成分のデータを即時に送る必要があるかを考える必要があるであろう。しかしながら、ここで筆者がより重要であると考えているのは、地震観測の継続期間とコンピュータ技術・通信技術の進歩の早さの違いを、吸収する観測システムを考えることである。つまり、地震観測は5年から10年かけて行なうことを考えているが、コンピュータ技術・通信技術は数年で陳腐化してしまっているので、収録はできるが転送できない、あるいは転送方法/速度がその時代の標準と合わない状況が現われることが想像される。このような状況が生じないように、観測システムを設計することが必要であろう。

コンピュータ・ネットワークを利用したデータベース化も、それほど遠い将来の話では無いと思われる。つまり、基本的には、最近頻りに使用されるようになった、インターネットを利用し、各機関が公開してもよいと考える地震記録を、公開用のディレクトリに入れておけばよいからである。インターネットを利用したデータベース例については、本シンポジウムで山村（1994）が行なっている。データのフォーマットも、統一されていたほうが便利ではあるが、フォーマットの紹介あるいは読

み込みプログラムがデータと一緒にあれば、それで用事は足りると思われる。しかしながら、この場合に大きな問題が2つある。一つは、北川がコメントしているが、「関係者のデータ使用に関する"モラル"の低下、"利用"のみで"提供"の気持ちが少ない」である。これは、強震動のデータベース作成に当たって、根本的な問題ではあるが、如何せん精神論の問題なので、これ以上の議論はしないことにする。二つ目は、地震記録と地震の情報をどのように結び付け、それをだれが管理するかである。地震記録は地震の情報と観測点の情報が組み合わされたものであるが、地震動と地震を結び付けるのに重要なのは時刻である。つまり、地震の情報がコンピュータ・ネットワークを通じて自動的に入手できることを仮定すると、自動的に地震動と地震を結び付けるためには、地震計側の時計の精度が高いことが重要である。しかしながら、本委員会の検討では、現在の強震計では時刻の精度に若干の不安があることが分かっている〔土肥(1994)〕。時刻が正確であっても、振幅が小さい場合には、地震諸元と観測点位置や最大振幅を総合的に判断する必要がある。また、網羅的に地震記録を捜そうとすると地震の情報と地震記録とを結び付けるテーブルが必要である。地震記録のデータベースが本当の強震のみを対象とすれば、記録と地震とを人間が結び付けることは頻度が低い分容易であるし、自動的に結び付けることも可能であろう。また、具体的には地震記録のファイル名に地震の名前をつければ良いから、問題も少ないと考えられるが、それにしても、どこに(どの機関に)地震記録があるかを関係者全員に周知するのは容易ではない様にも思える。これに対して、北川は「アメリカのUSGSのようなセンターを設立し、ネットワークの構築を行ない、利用と提供の観点からデータベースの構築を行なうべきであろう」とコメントしている。あるいは、現在のネットワークが基本的には、各位の献身的な努力で行なわれている事実を考えると、センターを設立してセンター主導という考えでなくても、ネットワーク上のデータベースはうまく行くかもしれない。

最後に、「将来の共同観測は国家的事業あるいはプロジェクトとして、位置づけるべきである。その際には、官・民・学の共同体制が必要であり、官・民・学での研究等の共通データとして、位置づけるべきである。官・民・学の各研究所の見直しを含めて、官・民・学サポートによる財団法人の研究所の設立が必要か。」との北川のコメントを紹介して、本節を終了したい。確かに、何故強震観測が必要であるか、どのようなデータが必要か、それを実施するためにはどのような形態が良いかをもう一度考える必要がある。

5. おわりに

大規模な共同観測の事例を紹介し、共同観測でのデータフォーマットや保管方法、配付方法を比較して見た。

さらに、共同観測を運営している方々に今後の課題を挙げて頂き、勝手ながら各位が挙げた今後の課題について私見を述べさせて頂いた。共同観測を運営する立場からの意見は、今後の強震観測あるいはデータの利用に関して重要であると考えられるので、もう一度まとめる

と次のようになる。

- (1)地震計の相対的／絶対的な精度。
- (2)必要に応じた観測成分の選択(加速度／速度)。
- (3)通信技術を活用したデータ収集。
- (4)コンピュータ・ネットワークを利用した観測記録のデータベース化
- (5)データベース利用上のモラルの確保。
- (6)強震観測の意味の再確認。

参考文献

- 片岡俊一, 横田治彦, 田中貞二, 勝倉裕, 林康裕, 渡辺孝英, 1990, 大型振動台によるデジタル加速度強震計の振動試験, 第8回日本地震工学シンポジウム, 577-582.
- Kanamori H., 1992, Real-Time seismic network for research and hazard mitigation - TERRA scope and CUBE-, Proc. IDNDR Intl. Sympo. on Earthq. Disaster Reduction Technol. - 30th Anniv. of IISEE, Tsukuba, Japan, 183-197.
- Kudo K. and T. Tanaka, 1993, Array observation of strong ground motion, Earthquake motion and ground condition, The Architectural Institute of Japan, 199-206.
- 林康裕, 勝倉裕, 渡辺孝英, 片岡俊一, 横田治彦, 田中貞二, 1991, デジタル強震計の加速度記録を積分して得られる変位の信頼性について, 日本建築学会構造系論文集, 419, 57-66.
- 土肥博, 1994, 同一基礎上に設置された複数地震計の記録について, 強震データシンポジウム梗概集.
- 村松郁英, 1977, 速度型強震計の製作, 地震II, 40, 317-338.
- 山村一繁, 1994, NCEER Strong-Motion Data Baseの利用報告, 強震データシンポジウム梗概集.
- 横井勇, 1992, サーボ型速度計, センサ技術1992年臨時増刊号, 69-72.

共同観測の概要を示したものを、以下に示す。共同観測のデータを用いた報告については、原則として除いている。

<仙台高密度観測事業>

- 北川良和, 山崎裕, 水野二十一, 大川出, 大橋雄二, 鹿島俊英, 1987, 各種地盤における高密度強震観測(その1-全体概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), 415-416.
- 鹿島俊英, 北川良和, 山崎裕, 水野二十一, 大川出, 大橋雄二, 1987, 各種地盤における高密度強震観測(その2-観測システムの概要と地盤の増幅特性), 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), 415-416.

<関西地震観測研究協議会>

- 岩崎好規(関西地震観測研究協議会), 1994, 関西地震観測研究協議会による地震観測(その1 協議会の発足について), 地震学会大会予稿集2, 230.

- 香川敬生(関西地震観測研究協議会), 1994, 関西地震観測研究協議会による地震観測(その2 観測体制について), 地震学会大会予稿集2, 231.

<釧路ESG共同強震動観測>

- 笹谷努(ESG研究委員会・強震観測部会), 1994, 釧路市における共同強震動観測(1) -序論-, 地震学会大会予稿集2, 233.

- 笹谷努, 1994, 釧路市における共同観測, 1993年釧路沖地震に関する総合シンポジウム, 日本建築学会1993年釧路沖地震総合研究学術研究会, 13-20.