

「リアルタイム地震情報システムの構築」

—首都圏をテストフィールドとして—

防災科学技術研究所

地圏地球科学技術研究部長 石 田 瑞 穂

中島先生、ご丁寧なご紹介ありがとうございます。防災科学技術研究所の石田です。きょうは、防災研究所の新組織としてのご出発と、それから創立45周年の記念式典ということで、お祝い申し上げます。そして、このような晴れがましい席で講演させていただきますこと、大変光栄に思っています。

今、中島先生もおっしゃいましたし、その前の廣井先生も話題になさいました兵庫県南部地震後、地震学などの焦点もいろいろ変わってまいりました。このあと、ここのタイトルにも書きましたが、リアルタイムのデータ情報とか、リアルタイム何々という、リアルタイムという言葉が非常にあちこちで使われるようになりました。特に、カリフォルニア工科大学とUSGSの共同プロジェクトであるCUBE、皆さん、CUBEというのを、多分この地震のあとよくお聞きになったと思いますが、これの紹介と同時に、こういうことに対する日本の体制の遅れを指摘するような記事を新聞紙上など、いろいろなところでご覧になったと思います。

実は、私どもにいたしますと、それほどリアルタイムで地震情報を流すということに関する限り、日本は遅れているわけではないと思っています。長年気象庁がこういうことに関わってまいりまして、皆様御存知のように地震が起きますとそのすぐあとにTV上でテロップが流れます。ですから地震情報に関しては一生懸命にしていращうと思います。ただ、CUBEシステムでは、もっとたくさんの情報を、1秒でも早くということに非常に力を注いでまして、ユーザー側の要望に応じていろいろな方法を工夫しています。

それでは、例えば、私どもの研究所、私たちは防災科学技術研究所と言いまして、非常にここの防災研究所と似た名前です。略称は普通防災科研と申し上げますが、防災科研と防災研というのは非常に似てまして、ときどき間違われます。私どもにとっては非常に光栄ですが、長い歴史を持っていращう防災研究所の方々にとっては非常にご迷惑かと思えます。どうか我慢していただきたいと思えます。

今まで防災科研は、日本の経済的にも政治機能でも中核である首都圏に観測網を整備してまいりまし

た。ですから、今、兵庫県南部地震のあとでは、首都圏では一体どういう体制をとったらいいか。どんな地震の研究が役にたつ研究となりうるかというのを問われているのではないかと考えています。私たちは一体何ができるかというのを考えるために、ここに書いてあるようなタイトルできょうお話ししようと思って来たんですが、実際にはこのタイトルのプロジェクトはまだスタートしておりません。こういうようなものをスタートさせるために、私たちはまず何を調べたらいいのかを明らかにするための下準備段階という意味で、今までしてきたいろいろな研究や観測網がどんなものがあつたかというのをきょうお話ししたいと思ってます。プロジェクトがスタートしていませんから、これからお話し上げることには、私が個人で関わってきたようなものを中心にいたします。そのため話の内容としては少々偏るかもしれません。

首都圏ではもともと地震が怖いと皆さんおっしゃってますが、これが防災科研の岡田さんが表にまとめたものなんです。なじみのない方にちょっと説明させていただきますと、これは震度4,5,6、震度を横にとってあります。縦軸に年代がとってあります。これでご覧のように、首都圏で、震度6という地震が1855年、1894年、1923年というように、3から40年の間隔で起きています。ところが、1923年以来、非常に静かな時代が続いています。

一方、こういう震度6の地震、おそらくマグニチュード(M)7級の地震でしょうが、その地震の前を見ますと、震度5の地震が起きてます。最近になりました、1985年と1992年と2回、東京で震度5の地震が起きています。このような表から、もうそろそろM7級の地震が起きても不思議ではないと思われていたときに、震度5級の地震が起きたということで、首都圏は大きな地震の発生が危ぶまれているわけです。こういうことがありまして、従来の首都圏の地震観測網の整備がさらに促進されてまいりました。そういう地震観測網がどんな観測網で、実際にはどのように使うことができるかというのをまずお話いたします。

ピンクで囲いましたところが主に防災科研の観測

網です。関東地域には微小地震ネット、大体これは100点近い観測網が整備されています。主にこれは1978年から6年計画で整備されたものですが、先程申しあげました震度5級の地震が起きましたあと、さらにそれらが補充されて、強力なネットワークとなつてまいりました。

それから、これは今年の6月ぐらいからデータがテレメータで収集されるようになりました相模湾の海底ケーブル地震計です。

それから、広帯域地震ネットワーク、これはまだ1994年から始めて今年で3年目です。整備しはじめたばかりのネットワークです。

それから、皆さんご存知だと思いますが、K-NETと呼ばれる強震ネットワークです。これは昨年1年間のうちに1,000点の強震計観測点が整備されました。

それからもう一つ、これはブルーで書きましたが、横浜市が中心になって整備してます高密度強震ネットワークです。

私どもが今データを一緒にあわせて考えてみようとしているのは、この5種類の観測網のデータです。次にこういうもので何が今までなされてきたかを簡単に紹介いたします。

まず、これは防災科研で一番長い歴史を持っています高密度の地震観測網です。ブルー印は、平均的には100mの観測井に地震計が整備されています。それから、赤印はもう既に整備済みの観測点ですが、2,000mから3,000m級の深井戸の地震計です。このグリーン印は、多分今年度中には整備し終わるだろう、2,000m級の地震観測点です。それからこれが相模湾の地震計です。そしてこれは、兵庫県南部地震のあとに、基盤的観測網整備が計画されていますが、その計画が正式にスタートする前に整備され始めた観測点です。これは、名古屋に、どの点かちょっと忘れましたが、2,000m級の観測井が一つと、あとは平均200mぐらいの地震観測地点です。

今、首都圏には比較的深井戸の観測点が多いんですが、それはこのような理由によります。

これは、東京湾を中心にした基盤震度分布です。非常に堆積層が厚いです。このピンクのコンターで示したところが堆積層の厚さが3kmぐらいです。ブルーのコンターが厚さ4kmの堆積層です。こういうところで観測したデータがどうなるかというのを次にお見せします。

観測点はこの近くです。川崎が大体600m級の中層観測井です。この府中と書きましたのは3,000m級の観測井です。地震がここ深さ20kmぐらいのところで起きました。その観測記録をここに示してあ

ります。600mぐらいですと、信号はほとんどノイズの中に入ってわかりません。結局、首都圏ではこういうような深井戸を掘って観測せざるを得なくなります。

こういう小さい地震、微小地震まで観測することによって、首都圏ではこういうことがわかってきました。

これは今首都圏を東西にさし込み状に切りまして、その断面図をお見せしているわけです。大体東京がこの辺りです。ブルーは東の方から沈み込んでいます太平洋プレートです。黄色は、この画面で言いましたら、南東から北西方向ですから、右手前から左奥に沈み込んでいるフィリピン海プレートです。この赤いのが1923年関東地震の断層面です。

大体このようなプレート間の相対運動で、いろいろな地震が起きていることがわかってまいりました。

プレートの形状は、主に震源の分布と発震機構から求められています。全く同じ場所ではないんですが、トモグラフィーによって速度構造がどんなふうになっているかをちょっと見ていただきます。BとCの断面だと思ってください。

青系が速度の速いところで、赤いのが速度の遅いところなんです。そうしますと、地震は大体青系の高速度構造のところに起こっています。このように速度構造でもプレートの沈みこんでいくようすが見えています。

これは今、ここでは時間がないので一部だけしかお見せしませんが、首都圏には上下動と水平動、二成分の地震計が整備されてますので、この他にこのようにS波構造、それからPとSの構造からポアソン比の分布も求められています。このように非常に詳細な構造がわかっています。

それともう一つ、首都圏で非常に特徴的なことは、地震がクラスター状に起きています。こういうクラスター状のところだと、普通は、クラスターとクラスターの中の地震が起きてないところでは何が起るかという疑問が起きます。これは本当にそうかどうか分からないんですが、こんなことが考えられるんです。これはポアソン比の分布を示しています。

この辺を見て下さい。これは47kmから62kmのあたりの速度構造です。これが房総半島で、このところは三浦半島で伊豆半島です。ここが東京湾のところなんです。よく銚子沖とか千葉県東方沖の地震というのが、この黒い固まったようなものです。この間というのはほとんど地震が起きていません。ここで示した震源分布の期間は、10年間ぐらいなんです。こういう間ではほとんど地震が起きていないんです。

こういうところというのは、非常にポアソン比の高いところですよ。よく空白域に地震が起こると言われていますが、こういうような場所というのは、空白域のままで、もしかしたら地震を起こさないんじゃないかと私は思っています。

このように詳しいことがいろいろわかってきています。

それから、例えば、こういうような地震活動というのはどういう起こり方をしているかといいますと、大きな地震が一個起きて、余震が起きているというだけではありません。こういうようなクラスター状の場所というのは、常に地震が起きている場所でもあります。

横軸に時間をとりまして、縦軸にマグニチュード、MT図と地震学者たちが言っている図なんですけど、こういうようなものでこの範囲内の地震を見てみると、1980年にM6.1の地震が起きてはいますが、この地震が起きたからこの地震活動が高いというよりは、ここは常に地震活動の高いところだというのがわかります。

このような地震の分布が何を意味しているか。まだよくはわかっていません。こういうように、ただ不均質構造だと言ってしまうとそれだけなんですけど、こういうものと、そしてほとんど地震が起こっていないところというのが、構造的にどんなことになっているかというのはこれから調べなければいけないことだと思っています。

また、非常に首都圏で気になるのは、東京の真下の20kmから30kmのこの地震です。これは、非常に小さい地震なんですけど、常に起こっています。最近この下での地震活動が高くなったんじゃないかと言われています。

この範囲を時系列で見ていただきます。そうしますと、マグニチュード4以上の地震が何度か起きています。横軸が時間で縦軸がマグニチュードです。そうしますと、1987年以前には3.5以上がたった一つだけなんですけど、これ以降、3.5以上の地震が増えたみたいで、地震活動が高くなったらしい。その上、震度5の地震が起きたというので、何かあるのではないかと言われたんですが、最近まで時間軸をのばしてみますと、まあこんなものなのかなと思います。

こういうことが、非常に観測網を整備しますと、よくわかってきます。わかったからといってすぐにこれで何か予想できるものではないんですが。

こういうような震源分布と、もう一つ、震源そのものでどういうことが起こっているか、破壊過程を調べるという目的で、私たちは、広帯域地震観測網の全国整備を始めました。これは、私たちの研究所

単独ではなくて、大学の方たちと協力して、統一的な観測網を日本列島全域につくろうということで始めたものです。これの主な目的は、地震の震源過程を詳しく調べることでなく、深部構造まで解析できるだろうということです。

しかしこの計画での観測網整備は今年度で中止し、基盤的地震観測網の整備にとってかわられることとなりました。現在、このプロジェクトで進めてきました広帯域地震観測施設は11点になっています。

これは全国ネットですが、関東地域で震源のことを調べようとしてまして、私たちはもっと密度の高いネットワークをつくっています。

こうしたネットワークから何ができるかなんです。まず、これは基本的には私たちは全部専用線でデータを研究所まで持ってくるようにしています。このピンクが、STS1といって、超広帯域のものでこの4点です。その他に、少し帯域が狭くなりますが、STS2による観測点があります。赤っぽいのが全部防災科研の観測点で、ブルーの丸は横浜市立大学の観測点、これが気象庁の観測点です。この点は、防災科研と横浜市大で共同でつくったものですが、今年度中には防災科研のスタンダードなものに置きかえる予定です。

こういう計測網では、まず、ダイナミックレンジを広げて、小さな地震から大きな地震まで全部観測するということを目的にしていますので、次のような工夫をしています。これは、M4.4の埼玉県東部の地震の記録です。この上3つが、いわゆる広帯域地震計です。この下3つの記録というのは、これと一緒に整備しました速度型の強震計です。上は振り切れているわけではなくて、今ちょっと比較のために同一倍率に拡大しています。

これを100分の1に縮めますと、こういう記録になります。

そうしますと、今振り切れていました広帯域地震計の記録がこれです。そして速度型の地震計は倍率を下げてますのでもう殆ど見えません。

これとこれを重ねてみますと、非常に細かいところまで、全部ぴったり一致します。

これによって私たちは、ダイナミックレンジを2桁以上あげることができています。これはもっと本当は細かく見ますと、いろいろと普通は難点があります。広帯域地震計というのは、短周期の方にききますと非常に倍率を落としていますので、普通はこんな記録に見えます。これが速度型の強震計です。そこで、広帯域地震計の記録の短周期側を補正しますと、非常に細かい点まで一致するような記録をとることができるようになります。

それからもう一つ。私たちは全部80Hzのサンプリングをしています。それはどういうことかと言いますと、普通はダイヤルアップですと時間がかかりますので、20Hzのサンプリングデータを収集することになります。そうしますと、仕方ないんですがデジタルフィルターによって、前の方に変なものができてしまいます。小さい地震ですと、この前のものをシグナルと間違えます。シグナルの立ち上がり部分の記録が不正確になります。ですが、すべて80Hzにするとこういうものが消えます。80Hzサンプリングデータは、専用回線で収集しないとかなかないと思います。

それからこれは、震源ではなくて、構造の解析と関係します。サハリンの地震の例です。これが20Hzサンプリング、このデータが1Hzサンプリング。0.1Hzになりますと、ちょっと倍率をあげていますが、実際には振り切れてません。長周期側が見えてきて、0.01Hz、このサンプリングにしますと、超長周期成分が全部見えるようになります。

これで、海域も、ダイナミックで広帯域の観測網を整備しているわけです。例えば、こういうので、ソースのことをどのぐらい見えるかをちょっとお見せします。

これは、埼玉県東部の地震でして、マグニチュード5.6、深さ17.5kmの3月に起きた地震です。菅野と中伊豆の2つの波形をお見せします。

詳しいことは省きますが、この小さな、これは多分他の前震とか余震とか小さな地震で確かめてありますが、こういうものは震源の影響ではなくて、明らかにソースの影響を書いているんです。これが菅野で、甲府で、中伊豆です。3つの観測点で比べますと、中伊豆はちょっと遠くなのでわかりにくいんですが、菅野と甲府の観測点で明らかに同じようなパルスが見えます。このように震源のことがわかるようになります。

詳しい解析はまだスタートしたばかりでしてないんですが、汎ルーチンの私たちがこういうことをしています。ソースファンクションを計算しまして、それでこの程度のことはホームページに載せられるようになりました。ですから、あるサイズ以上の地震は次々と解析してホームページに載せていますので、ご覧になっていただければと思います。ただし、これはまだ全自動にはなっていません。ですから、これからリアルタイムを考えるとときには、こういうものをどの程度人手を介さないでできるかが非常に問題になると思います。

こういうようなデータを、観測点の整備段階からいろいろ続けてまして、こういうことが少しわかっ

てきています。

まず、微小地震で決めたマグニチュードをMNIEDと書いてあります。そして、今みたいな広帯域地震計で求められた、いわゆるモーメントマグニチュード、こういったものが横軸です。そうしますと、ほとんど45度になります。つまり、微小地震観測網から求められたモーメントは、モーメントマグニチュードとしてまあ使えるんじゃないかと思っています。

それから、これはモーメントと、そして震源時間関数のグラフです。黒色が30kmよりも深い地震で、白丸が浅い地震です。そうしますと、大体マグニチュード3くらいから8くらいまでの地震について示してありますが、非常に直線性を示しています。

ということは、パルス幅がわかればモーメントが、概算できるということです。これをもうちょっと違う形で表してみます。大体ストレスドロップはどのように変化しているかを見ていただきますと、関東地域ではこういう形になっています。横軸に深さが書いてあります。縦軸にモーメント割るパルス幅です。これは大体ストレスドロップに比例するような量です。そうしますと、浅いところから30kmぐらいまでは、深さとともにストレスドロップが増えてきますが、深いところではほとんど一定です。

ときどきストレスドロップが大きかったり小さかったりします。こういう解析をする前は、クラスター状のところに起こる地震というのはストレスドロップが低くて、こういう太平洋プレートの中が割れたり、あまり起こってないところで起こる地震というのは、ストレスドロップも大きいんだろうと思ってきたんです。ところが、いざ解析してみますと、こういう中にもストレスドロップが高いものもあるし低いものもある。必ずしもプレートが割れたことのないようなところで起こったからといって、ストレスドロップが大きくはないということです。

そうすると、こういうのから、どういうところにストレスドロップの大きい地震が起こって、そして、あんまりストレスドロップの大きくない地震が起こるのかというのは、それほど簡単には言えないということがわかってきています。

それから、次に、これは強震ネットです。これは1年間で作ったばかりですので、いろいろな解析が進んでいないと思いますし、恐らく、これは外の方が利用なさっていると思います。今大体、これで100点から200点、数えてないんですが、200点から300点の間ぐらいここにあると思います。

9月に起こりました銚子の地震を見ていただきますと、こんなふうに見えます。

これを変位波形に直しますと、かなりよく求められています。但し、まだ広帯域地震計のデータと比較してはありません。

もう一つ、これはあまり外へ出さないでほしいということでしたが、等ガル線をすぐ求め、地域ごとの特徴を調べてます。この種のデータが現在たまりつつあります。このデータは、準リアルタイムとなっておりますが、自分の方からダイヤルしてデータを集めなければならないので、そういう点では大変ですが、研究用には非常に役立っているのではないかと思います。

それから、これは地震研究所の菊地さんが中心になって、非常に精力的になさってるんですが、横浜市のネットワークです。これは20km掛ける30kmぐらいの狭い範囲に、150点の観測点がこれから整備される予定です。現在稼働しているのは18点です。今年度中にすべて観測網が整備されるはずですよ。

この記録は、今Kネットでお見せしました銚子の地震と同じ地震です。

この観測網というのは、この四角の中にこれだけの観測点があるわけです。

これをそれぞれ見ていただきますと、かなり近いところにある観測点でも、振動というのは随分違うのがわかります。この黒の中の白抜きの字は、気象庁の震度計での震度です。こういう細かいことがこのようなネットでだんだんわかってきます。

例えば、これでちょっとおもしろいのは、鶴見区と南区の観測波形です。鶴見区は振幅が小さくて、南区というのは大きいです。

ところが、これを入力として、振子を揺らした例なんです。これは菊地先生がなさったものです。私は木造家屋の卓越周期が0.5秒かどうか本当はよく知らないんですが、木造の平屋が大体0.5秒の卓越周期で、高層ビルが大体2.5秒としますと、こういうような入力波形に対し、図のような応答波形が得られます。こういうこともだんだんわかってきます。

これは地震研の武尾先生の研究結果です。関東地震の断層面上で、どこから破壊が起きたかによって、東京のウォーター・フロントでどのような揺れが観測されるか示しています。これは、大体100km掛ける50km、3kmぐらいメッシュに切りまして、いろいろな方向から破壊をスタートさせた結果、東京のウォーター・フロントでどのくらい揺れるかを速度スペクトルで示しています。

そうしますと、モデルによって速度振幅で大体一桁ぐらい違います。但し、5秒よりも短周期に関しては、スムージングしてありますので、あまり正確ではないと思います。長周期だけ見ていただき

ますと、ほとんどの場所で13秒から15秒のあたりにピークを持つ速度応答スペクトルを示しています。

この鎖線は東京と横浜のハイライトビルディングのデザインです。速度スペクトルの最大値をみますと、13~15秒では現在のデザインの3倍ぐらいの振幅になることがあります。まず震源とそしてどこからどう破壊がスタートかということが、大地震直後わかってレスポンス、最大振幅などが予測されるようになればと思っています。

これは去年の6月の毎日新聞からの例です。小堀研究所の武村さんが関東地震について調べた結果なんですが、本震のマグニチュード7.9のあと、4分半の間にマグニチュード7.2と7.3という余震が起こっているわけなんです。

本震でパニック状態のときにこういう余震が起きたら大変です。こういうときに1分でも1秒でも早く情報が入ったら少しは役に立つのかなということを思っています。

これはちょっと余談になりますが、このときの地震動について当時東大地震学教室の助教授今村明恒先生が書いたもので竹村さんがまとめた記述があります。多分地震関連の人たちはご存知だと思います。やっぱり偉い先生だけあり、詳しく観察しています。1秒目やや微動で始まり、3.4秒のあと振動が次第に大きくなり、7.8秒になって家屋の動揺はすこぶる著しくなる。まだ主要部に入ったほどではない。12秒を越えたときに、振動急に増大しかわらが落下し始め主要部に入ったことを意識。15.6秒、振動の強さが最大に達す。そのあとさらに数秒から10秒は最強部の強さである。こういうような振動が続いたあとに、また同じような振動が2回、5分ぐらいの間にきているわけです。

こういうのに対して、私たちに何ができるかなんです。普通高感度地震計というのは、大体関東地域ですと、マグニチュード4ぐらいでほとんど全部の観測点で振り切れてしまいますと震源を決めるのに時間がかかります。といいますのは、自動読み取りするときに、ノイズレベル以上のシグナルが来たときに、その前後1秒ぐらいで一番適当なところをP波として検出しています。そして地震動が終了してから震源決定しますので、現在の自動読み取りの震源データは遅れます。

今考えていますのは、こんなことをしたら、これはもう本当にこれで見ていただくとわかるんです。1993年頃とりかかりましたがちょっと忙しくてしてなかったんですが、もう一度考えてみようと思っています。これは清水の広帯域地震計の記録です。

いろいろ詳しいところは忘れちゃったんですが、

これは非常に単純に、ただ二乗しただけです。ちょっとは工夫したんですが、単純に二乗したと思ってください。頭から見てきてシグナルがあるレベル以上になったときに、シグナルとして検出して、まず震源決定をする。そうしますと、格段に早く情報をとらえることができます。

それともう一つ、ちょっとこんなことも考えてみました。これは同じデータですが、ただ単にこれは積分しただけです。上下動がこれです。水平動のところで水平になっております。これは他にほとんど何もしてません。ただ積分して、急増したところを検出します。複雑なことをしますと、どうしても大きな地震がきたときにはトラブルが起こりやすいです。もし、ちょっとでも早くということを考えましたら、あまり高級な処理はしないで、単純な方法で何かできないかと思っています。

それからもう一つ、これも途中で放り出して、その後あんまりしてないんですが、これは残念ながら、広帯域地震計の記録がありませんときだったので、高感度地震計でちょっとしてみたんです。100kmを基準としまして、振幅と震源からの距離をここにプロットしました。かなりばらついてるんですが、観測点補正をしたりしますと、もう少しよくなります。

それで、基準のカーブを求めまして、最大振幅から震源を決めます。実はこれは高感度の地震計を使っていますので、大きな地震に関しましては、本当に遠い、数件しかデータはないです。比較的近い所は小さい地震だけで、小さい地震は遠くのデータはないので、結果はかなりばらつきます。

できたらやっぱり、非常に小さな地震から大きな地震まで全部振幅が振り切れないようなものでこういうものをつくらないと意味がないんですが、とにかくどんなことができるか見てみたのがこれです。

最大振幅から決めましたので、これは震源とは違ひまして、最大のエネルギーを出しているところで

す。この白丸が微小地震で決めたもので、黒丸が今の最大振幅で決めたものです。かなりずれちゃってるのがありますが、もうちょっとちゃんとしたら、もう少しうまくできるんじゃないかなと思います。

何でこんなことをするかと言いますと、大きな地震のあと、次々と余震がきます。そうしますと、Pの初動なんていうのは、ほとんど読めなくなります。それで、最大振幅ならわかりますから、最大振幅を使ってどんどん何か決めるようなことを考えたらどうかと思っているわけです。

このように非常に乱暴に、最大振幅からマグニチュードを決めますと、当然ばらつくのはしょうがないんですが、この程度には決まるので、もうちょっとちゃんとしたら、もう少しいいことができるんじゃないかなと思います。

こういうことがすぐできたら、そのあとは震源を決めまして自動的にこういうような震源パラメータを決めれば、かなりいろいろな情報が早い時点で見ることができるかと思っています。

これは、地震のあとで、地震研の井手さんが丁寧に決めたものです。もちろんこんな結果まで求めるのには時間がかかりますが、どのくらいの近似なら早く求められるかというのを考えて解析システムをつくれたらと思っています。こういう情報のどんなものが、実際にはどの程度役に立つかというのは、これからちゃんと考えていかなければならないことだと思っています。

こういうことは、多分、防災研究所でも関西を中心に考えておられると思います。私も非常に少ないメンバーで考えていますので、これからこういうシステムづくりに、共同で、智恵を出し合って、いいものができればと思っていますので、どうぞよろしくお願いします。雑駁な話でしたが、今後のそのいい協力で、少しでも役に立つ地震学ができることを期待して、講演を終わらせていただきます。