

## 私の研究遍歴—工学地震学から社会地震学へ

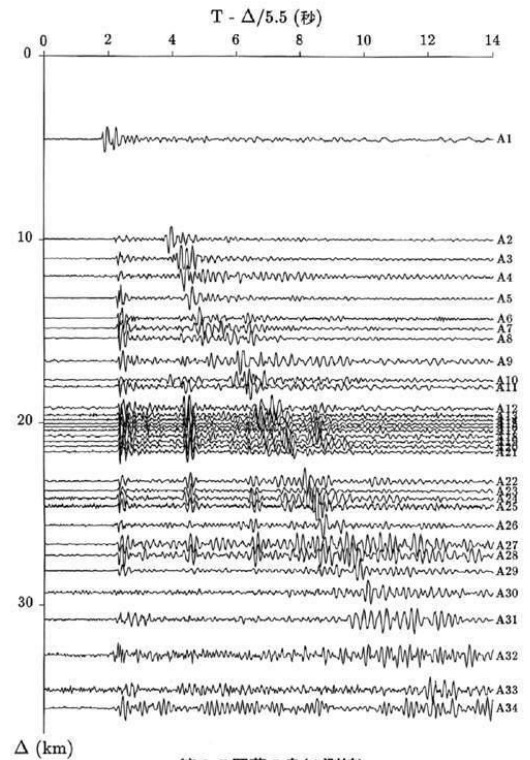
東京工業大学 瀬尾 和夫

### 1. はじめに

恩師である小林啓美先生の研究室に助手として拾って戴いたのはちょうど30歳の時で、今から35年前のことになる。それ以前のことから話し始めると限りがないので、この35年間に会った研究上のいくつかの『衝撃(ショック)』についてお話させて頂きたい。私の場合、助手のスタートは同時に博士論文のための研究のスタートでもあり、誠に幸運な二足の草鞋であったと感謝している。その時、小林先生から助言して戴いたのは、一つには、自然現象の中にこそ真実が隠されているのでそれを大切にせよということと、もう一つは、研究者のすべてが必ずしもカミソリである必要はなく、中にはノコギリが居てもよいのではないかということであった。何とありがたい助言であったことかと、これまた感謝せずにはいられない。

### 2. 東京夢の島を中心とした爆破探査

当時同じく助手でおられた長橋純男先輩の言によれば、小林先生は新米助手の私のためにいくつかのエサ(研究課題)を準備してくださったようで、私がどのエサに食いつくのかを見ておられたフシがある。経緯はよく覚えていないけれども、私が食いついたのは夢の島爆破探査という研究課題であった。これは地震研究所の嶋悦三先生のご指導で、東京都が夢の島埋立地で人工爆破を行い、基盤のP波速度を定期的に確認することによって、その当時注目されていたショルツ理論(地震の先駆現象としての地殻内P波速度の変化を捉えて地震を予知しようとの考え)を実証できないかというのが表向きの目的であつたらしい。しかし嶋先生にしても小林先生にしても、本当の目的が東京直下の基盤構造の解明にあることは明らかであった。その証拠に、1968年十勝沖地震で長周期地震動が注目された八戸港湾ではすでに同様の爆破探査が試みられており、八戸の2.5秒の卓越周期は深さ380mの基盤層に至る表層地盤の増幅特性によることが判明したばかりであった[1]。それだけに、より規模の大きな関東平野を対象とした夢の島爆破探査への期待は大きかったし、現に1975年から1988年まで計27回の夢の島爆破によって関東平野の基盤構造が少しずつ明らかにされる様子[2]を身近に体験することができたのは非常に幸せなことであった。爆破地震動をいかに観測するかは当然のこととして、観測記録から精度の良い走時ダイヤグラムを得ることは屈折法による地下構造解析にとって極めて重要なことで、そのためには美しい観測記録を得ることがなによりも望まれる。確かに震源の場所も発震時も決まっているのでセンサーさえ高密度に配置すれば良い記録が得られるのは当然かも知れないが、図1は私にとっては真に『目から鱗』の観測記録であった。この図に顕著に見られる重複反射波のメカニズムを確認するために防災科技研の府中深井戸の孔底と地表で得られた夢の島爆破の記録(図2)も、私にとっては忘れられない記録である。これらの爆破地震動の記録が大変美しいのは地震波の伝播する様子が手に取るように理解できるからではないかと思われた。そして、この夢の島爆破探査のために多くの機関の研究者に知り合えたこと、学内においても多くの仲間と観測を共有できたことは何ものにも代えがたい経験であったし、解析のために地震研究所に何度も通い、嶋悦三先生はじめ柳澤馬住さんや工藤一嘉さん達のご教示によって、半ば爆破探査の専門家のような顔をして、側面から国や地方自治体の地震防災行政のお手伝いできたことにも感謝したい。



第25回夢の島(A測線)  
 図1 夢の島—黒川測線の爆破観測記録  
 (1987.3.15, 02:02:00.242)

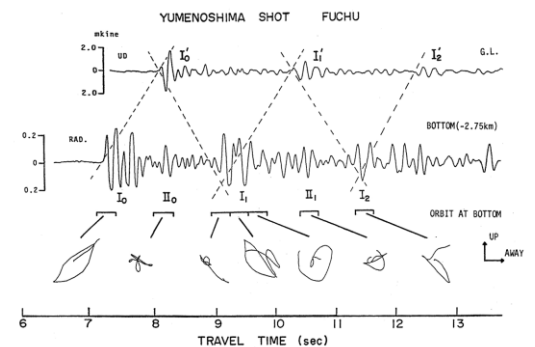


図2 防災科技研府中深井戸の地表と孔底で同時観測された夢の島爆破の記録

### 3. 関東平野の地下深部構造と地震波動の伝播機構

二足の草鞋のうち助手としての任務の方は、ちょうど小林先生が研究代表者となってスタートしようとしていた文部省科研費『長大構造物の地震動災害とその防止に関する研究』[3]の事務局兼雑用係であった。この研究組織には金井清・表俊一郎両先生を筆頭に、田治米鏡二・村松郁栄・伯野元彦・大塚道男・鳥海勲・太田裕・田村重四郎・柴田碧・片山恒雄といった錚々たる先生方や鏡味洋史さん、後藤典俊さん、笹谷努さんなど当時すでにご活躍の若手研究者がいらして、後で判ったことではあるが、その当時の工学地震学とりわけ長周期問題を牽引しておられた殆ど全ての方々がお名前を連ねていらしたことになる。この研究グループは良い意味でのサロンの雰囲気があって、先生方の何気ない会話の中から学ばせて頂いたことは実に多かった。これらの先生方の多くは、川崎市防災会議の地震専門部会や建築学会振動分科会の地盤震動シンポジウムでも活躍しておられたので、その後、長期間に亘ってお世話になることとなった。

この研究グループでは個々の分担課題のほかに、関東平野の地下構造を反映した長周期地震動を観測することになり、そのメンテナンスを任された。地震計はPELSという地震研究所が開発した可搬簡易型長周期高感度のセンサーが使用され、後には村松先生が開発された襷掛け速度型強震計が用いられた。観測点は小林研究室のあった大岡山キャンパスと金井先生がいらした日大生産工学部の習志野校舎、それに関東平野の外縁に当る浅川(八王子市)の3ヶ所で、私が住んでいた大船(JR 根岸線本郷台駅前の公務員宿舎)も加えて頂いた。地震記録の同時性を確保するには時計較正が必要で JJY 受信用の短波ラジオとオシロスコープ、レコー

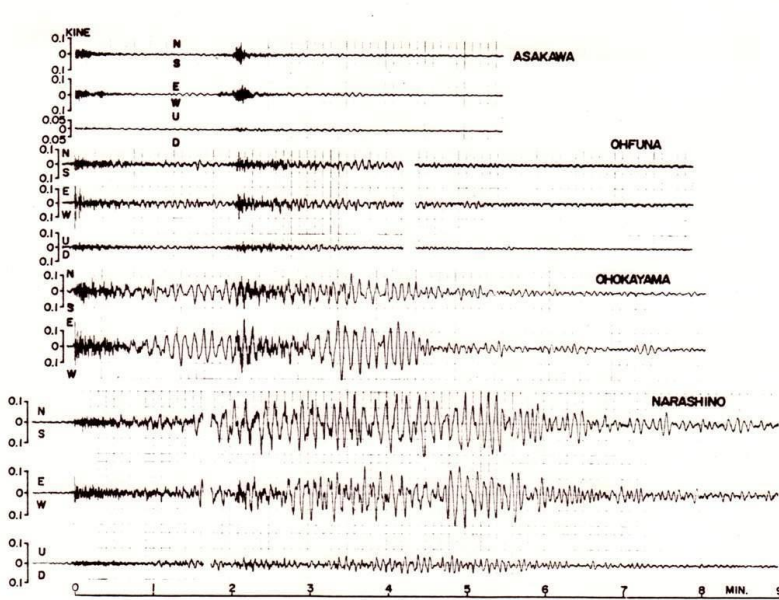


図3 関東平野で観測された1978年伊豆大島近海地震の前震記録(約2分の間隔をおいて2つの地震が発生しており、大岡山や習志野ではそれらが重なって継続時間を長く見せている)

ダーを担いで電車で習志野と浅川を回るのは1日仕事であった。浅川のトリガー装置がどうしてもうまく作動しなかった時にはお神酒を奉って神頼みしたこともあった。この研究期間はわずか3年で、その終了間際になってようやく観測記録(図3)が得られた。それは浅川には現れない周期7秒の長周期地震動が大岡山ではじめて観測された記念すべき記録であった。このような長周期地震動を伝播経路に沿って系統的に観測したいとの思いから、この時の地震観測体制を増強する努力はその後も長期間続けることになった。

同じ頃、別の意味で衝撃的であったのは気象庁の地震記録(図4)を目にした時『地震動は複雑ではあるが決して出鱈目ではない(複雑さの中の秩序)』ことを悟った瞬間であった。これは地震波の位相を大切に扱う爆破探査の経験によるもので、地震動特性を知ることと地下深部構造を知ることとは実は表裏一体の関係にあることが非常に良く理解できた。この段階で学位論文の骨子は出来ていたはずであるが、

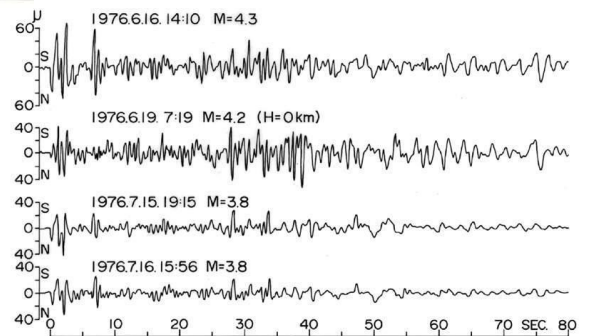


図4 東京大手町における気象庁の変位記録の例(1976年山梨県東部地震の余震群)

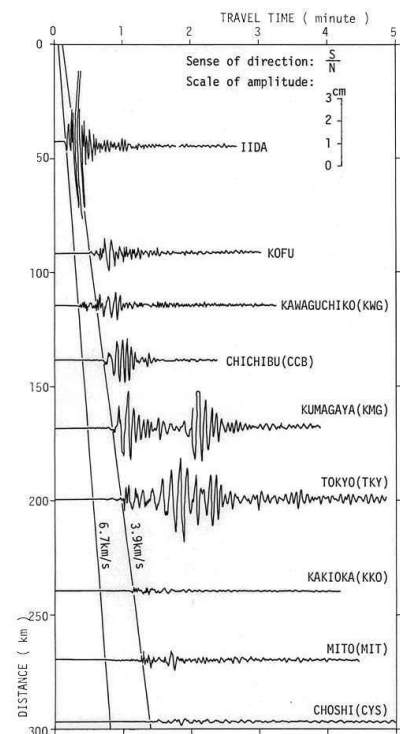


図5 気象庁1倍強震計による1984年長野県西部地震の記録とその走時ダイヤグラム。

悲しいことにそれをどのように料理し、どの程度まで問題を掘り下げれば良いのかが皆目判っていなかった。気象庁の地震記録でもう一つ強烈に印象に残っているのは1984年長野県西部地震の際に熊谷地方気象台で観測された1倍強震計の記録(図5)であった。熊谷の記録だけを見ていると双子地震のように見えるが、震央距離に沿って地震記録を並べてみると熊谷だけに2つの波群が見られ、後の波群は1分間どこかで道草を食っていたことになる。後に小山信さんが博士論文として解決してくれたところでは、震源から軽井沢・高崎を迂回して、利根川によって削られた深い谷筋にガイドされて熊谷に到達した一種の表面波(ラブ波)であると考えると全ての辻褄が合うことが判った[4]。

#### 4. 金井先生の常時微動とメキシコ地震

金井清先生には、小林先生が最も敬愛しておられた工学地震学の大先輩でいらした関係から、私どもにも大変親しく接して戴いた。その所為もあって金井先生の常時微動(いわゆる金井微動)をきちんと理解しないと申し訳ないとの気持ちは小林研究室に代々引き継がれてきたように思われる。1985年のメキシコ地震では、小林先生も自ら微動観測機材を持って現地調査に赴かれた。翠川三郎さん、片岡俊一さんと一緒に私も一員に加えて頂いたが、常時微動がこれほど鮮明に現れる場所は他にないであろうと思われるくらい見事な調査結果であった[5, 6]。その結果を見たUNAMのローゼンブルース教授は「その機材を置いてゆけ」と半ば本気で言うておられたが、最初は微動を極微小地震と勘違いされていたようであった。小林先生は4WCEE(1969)の仇をとったと大層得意げであったが、その訳は、チリで開催された第4回世界地震工学会議で地盤震動特性を扱った論文が全て没になり、その張本人がローゼンブルース教授だったからだそうである。確かにその頃私は修士の学生で、論文が不採択になり怒り心頭に発した小林先生をよく覚えている。それはともかくとして、その後も毎年のようにメキシコへ調査に行き(修士課程に居た山崎吉高さんはUNAMに1年間留学することになった)、何故そんなにメキシコでやることのあるのかとエステバ先生に聞かれるたびに、金井先生の微動はメキシコで勉強するのが一番と同じ答えを繰り返していたものである。メキシコ市の微動が周期はいくら長くても金井微動に間違いのないこと、すなわち微動主成分の振動源が人間活動に起因するものであるこ

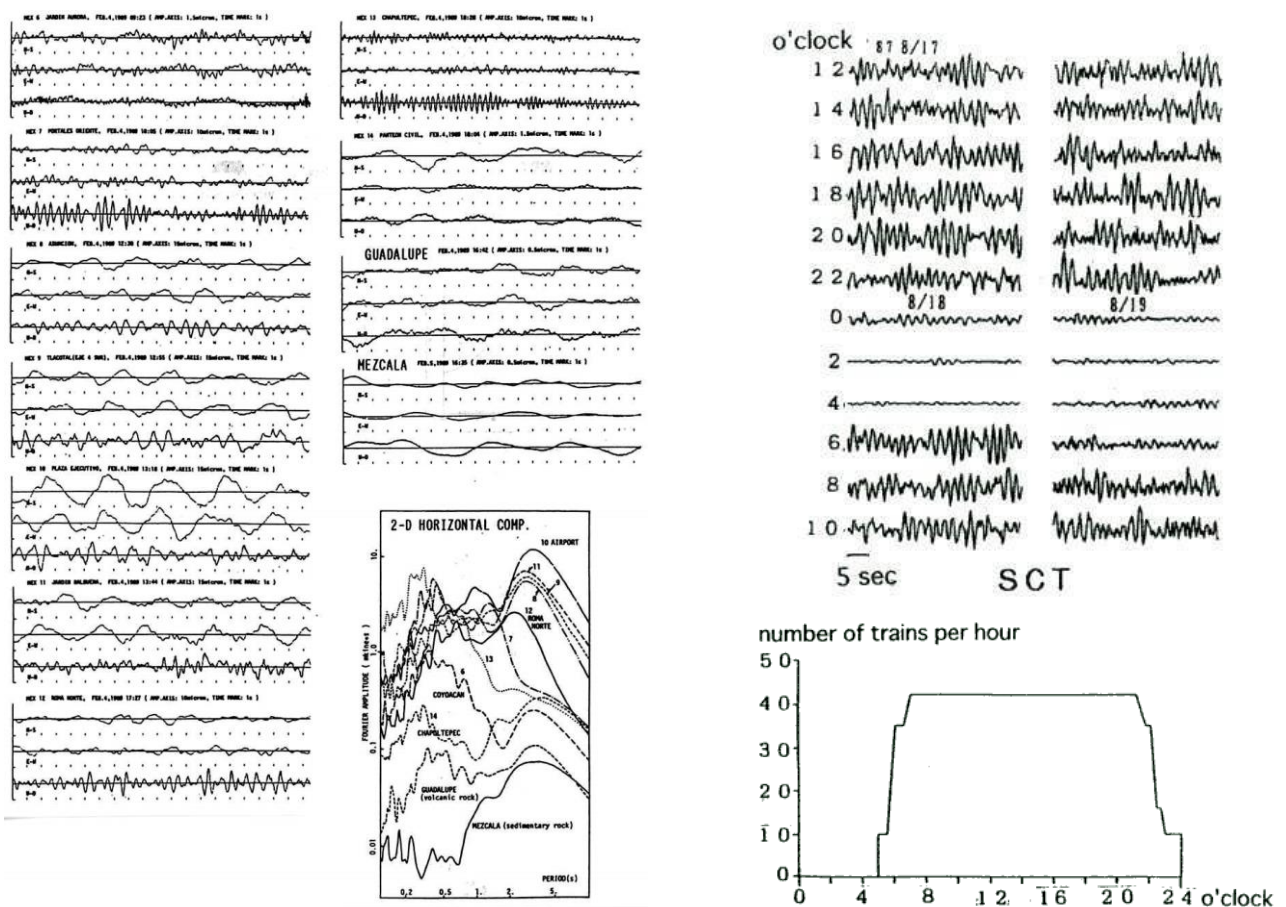


図6 メキシコ市で観測された常時微動とその解釈(左図は上からNS, EW, UDの3成分が1組になっている。軟弱地盤上のNo. 10では水平成分のみに長周期が現われ振幅も大きい。その長周期成分を2時間毎に観測すると右上図に示すように日中と夜間とで振幅が大きく変化する。右下図に示す地下鉄の運行ダイヤグラムの傾向とよく一致する。)

とを証明するために地下鉄の運行ダイヤまで調べたのは苦肉の策であった(図6)[7].

メキシコ地震が契機となって地震時のサイト特性の重要性が世界中に注目されるようになり、表層地質が地震動に与える影響(Effects of Surface Geology on Seismic Motion, ESG)の研究が国際的にも国内でも共同研究として開始され、入倉孝次郎さんや工藤さん達のリーダーシップによって地震時サイト特性の研究は大いに盛り上がった。そしてその頃には常時微動の工学への応用というテーマも国際的に認知されるようになり、地震工学関係の国際会議にも微動研究のセッションが設けられるようになった[8].

## 5. 兵庫県南部地震

15年前の1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は、私ども地震災害研究に携わる研究者にとっては真に青天の霹靂であった。地震の直後(特に地震当日の午前中)には一体何が起こったのか訳が判らなかった。建築学会の中では個別調査自粛の話もあったが、どうしても我慢できずに4日後に被災地に入った。小林先生から言付かって真っ先に西宮の堯天先生のお宅に立ち寄りお見舞いを申し上げたところ、ご夫妻はご無事で大層喜んでくださった。テレビが部屋の端から端まで飛んだ話を伺っている最中に加藤六美先生からお見舞いの電話があったことを覚えている。最初の1日で西宮市松籟荘の新幹線高架橋の崩壊陥没現場や神戸市東灘区深江本町の阪神高速3号神戸線の転倒現場、そして多くの戸建て住宅や木造アパートが圧壊した様子を見たことで頭の中はすでにパニック状態に陥っていた。新幹線や高速道路といった最先端のインフラ施設の被災形態は余りにも無残と云うか無様で、全く地震力に抵抗した痕跡が見られなかった。これまで学んできた耐震構造や地震工学が一体何だったのか判らなくなり、壊れた街並みを歩きながら涙が止まらなかった。恐らく多くの研究者や構造技術者が同じ思いをされたのではないかと想像しているが、それは腹立たしさと申し訳なさがごっちゃになった、ある種の『罪の意識』のようなものではなかったかと思われる。結局その年には、微動測定や爆破探査の観測も含めて神戸に8往復し、車で神戸往復も殆ど苦にならなくなった。その後も四国の実家への帰省の際に必ず神戸に立ち寄っていたので、少なくとも年2回は復旧・復興の進捗状況を確認してきたことになる。

兵庫県南部地震についての研究上の衝撃的出会いはいくつもあるが、その一つは、大阪北港を震源とする爆破を六甲山・ポートアイランド間で観測した記録(図7)に六甲の壁に撥ね返された波が見事に記録されていたことであった。この六甲山系の強固な鉛直の壁は、地震の際にも特異な地震動分布を与え『震災の帯』を表出させていた。さらに印象的であったのは構造物の被害方向(図8)が出鱈目ではなく、一連の震源断層の北東側では北西方向に、震源断層の南西側では南東方向に、殆どの構造物が倒壊や転倒を起こしていたことである。このような現象を説明できる最も簡単な震源モデルは、両者の中央に点震源を置いた右横ずれのダブルカップルを考えれば良いが、最近の移動震源モデルが主流の高等な地震学はそのような原始的な解釈を許してくれないようである。元木健太郎さんの博士論文は最新の地震学でも受け入れられる移動震源モデルをベースに置き、地震観測記録の特徴や構造物の被害分布、被害方向を矛盾なく説明する一連のプロセス

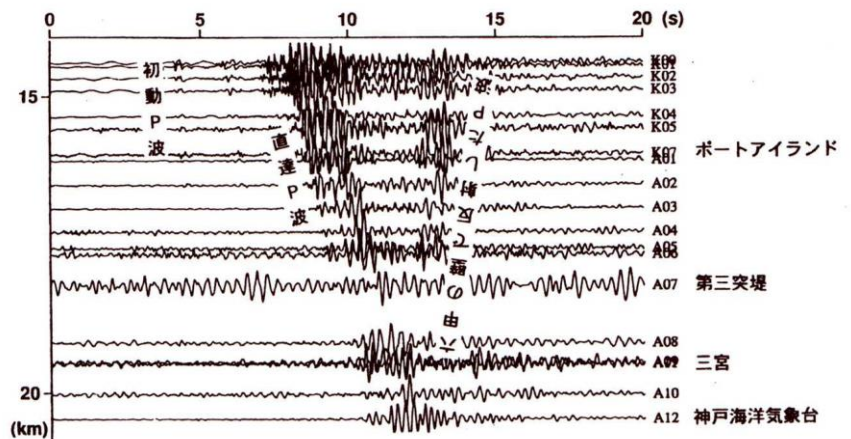


図7 大阪北港爆破の六甲山-ポートアイランド測線での観測記録  
六甲の壁で反射したP波が鮮明に見える(合同爆破観測より)

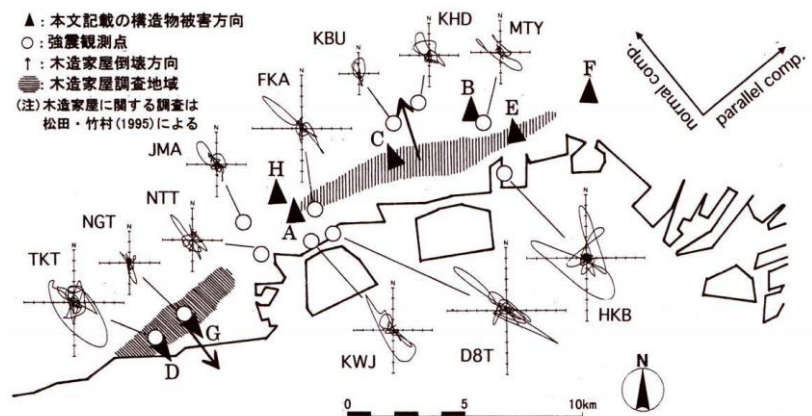


図8 兵庫県南部地震における建物その他の構造物被害方向と周辺の強震記録の水平変位軌跡。被害方向は非常に系統的に見える。