対談・地震学と耐震工学

浅田　敏・土岐憲三

中国の地震予知

土岐　最近は耐震工学の関係者だけでなく，社会一般にも地震に対する関心が高まっております．今年になって，$M8$ 近いのが例の中国のものを含めてすでに3回も起きています．中国の地震は，前には予知ができてセンセーショナルな話題になったのに，今回の唐山の地震は外れたので，これはなぜかということで私どもは興味があるのですが，その辺のところについて先生が最近『科学朝日』にお書きになったのを拝見しました．その中に，中国の予知の的中率は 20～30% ではなかろうかとありましたが，この数字は一体どういうところから出ているんでしょうか？

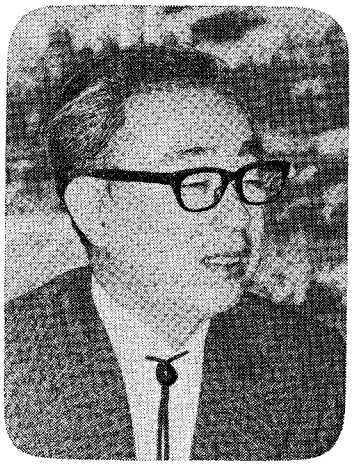
浅田　地震予知は，中国でもどこでも目下のところ前兆現象をとらえることが主です．中国の予知の的中率を語る場合，二つに分けて考えられます．一つは，いわばテストフィールドにおける小地震の予知で，例えば河北省南部で邢台(しんたい)地震の余震（$M4$ くらいのもの）をあてたりしています．こういうものと大地震予知の的中率とは別なわけです．

一般論として，予知は大地震のほうが楽だろうと思うのです．邢台地震の余震について話したときに，中国の責任者は的中率のことを話題にするのを嫌ったんです．誤解を恐れたんだと思います．日本では，10 日以内に東京で地震があるといっておけば 5～6 割はあたるという問題がありますが，中国の場合は，その地区では $M4$ 級の地震が1年か2年に一度ぐらいしかございませんので，そういう意味での的中率には議論の余地はないわけです．

私たちが見学に行ったときには，$M4$ の地震を二，三日の精度であてたばかりだったわけでして，いろいろ聞いてみると，前兆現象が全部揃わないので発表しないでいたら地震が起きたこともあるし，逆に揃ったのに起こらなかったこともある，というわけです．そういうことなどを総合して 2～3 割と判断したのですが，カナダの人たちは1割ぐらいだろうと言っていますね．非常に厳格に数えれば率は下がるわけです．

土岐　わが国では，いついつ，どこのあたりで地震が起こりそうだという意味での予知は，あまり行われていませんね．

浅田　テストフィールドの場合には，邢台地震の余震が，$M4$ 級もときどき混じえて，どこいらに起こるかあてているのですから話は単純なわけです．一方，大地震のあたり方は新聞情報に頼るしか仕方がない．1976年8月に四川省で起きた地震では，日本人がホテルから表に避難していたということで，あたったことになりますね．やはり，1975 年の雲南の地震もあたったといわれています．今度の唐山の地震は，長期的には危ないと言っていてあたらなかったわけです．そこで，どうも大地



浅田　敏氏

理博 東京大学教授 理学部地球物理学科

●計測器，地震予知等が最大の関心事と語っておられる地震学者．著書としては，『地震』（東大出版会）がある．

震のほうが率が高いような気がします．

わが国の地震予知

土岐　いま中国で行われている程度の予知は，資金と組織さえあれば，現在の日本でも可能なんでしょうか？

浅田　中国では，地球物理研究所の人員が 1966 年の 250 から 10 年の間に 1 万人に増えました．これには測量関係者や行政官も含まれています．国家地震局をつくったことと併せてその組織力は容易ならぬものです．中国の人は，周恩来みずからの力だというのです．そういう組織力と地震関係者のやる気がうまく合致すれば，一般的にいって地震予知はできると思います．テストフィールドの小地震の予知は日本でももうすぐ可能だと思います．これはお金のつぎ込み方によりますが…….

土岐　わが国の場合ですと，事後の対策は非常に熱心で，すでに各地の行政機関でも取り組んでいますね．そういうところの組織力を，少しでも予知のほうに引っ張り込むのは難しいのでしょうか？

浅田　そのとおりで，例えば大学関係の地震予知に使う金は 5 億円ぐらいです．これは安くもないが決して高くはない．昭和 52 年の概算要求はロケットが 95 億円，プラズマ関係も 20～30 億円ですね．これははっきりいうと，地震予知には受入れ体制がないからで，そっちのほうをもっとまじめにやれば，お金もたくさんもらえ，予知も急速に進むと思うのです．

ここでちょっと予知の現況をお話したいのですが，日本も外国もこの 10 年間で予知に関する知識はだいぶふえました．簡単にまとめると，多分，関東大地震はあと 50 年か 100 年はない．ご存知のように三角測量で測ったひずみが地震になるにはまだたりない．しかし，東京の直下地震はわからない．内陸の地震は，数百年または千年に 1 回，同じ所で繰り返すといわれてます．はっきりわかっているのは例の東海地震ですね．1944 年の地震ではその震源域は小さく，一代前の地震である 1854 年の地震と比べると半分で，その残りの半分が地震にならないで残っている計算です．

東海地域沿岸の測量結果も，そこの地殻地震の起こる方向に，つまり走力のたまる方向に時々刻々ひずんでいることを示しています．このような事情ですので，いずれ起こるのは明らかです．

わからないのは，50 年先か 5 年先かという点です．ただ確実なのは，50 年，100 年先なら世界一を誇る大地震で，5 年先ならそれほどでもないということです．

土岐　じゃ，急いできてくれたほうがいい（笑）．

浅田　ただ，5 年でも沼津，静岡まで含め震度 6 ぐらいになるでしょう．それで，新幹線や東名の橋が落ちないかといつも恐怖を感じるのですが，この地震を 5 年後か 50 年後かを極力早いうちに決定するよう，あらゆる方法を用いて努める必要がありますね．

土岐　私ども気になりますのは，予知が行われた場合に，それに対して社会がどう反応するかでして，事後対策に比べますと，この事前の対策については一般にあまり検討されていないような気がして仕方がないのですが…….

予知し得た情報をどう使うのか

浅田　1944 年の東海地震のとき，国土地理院のレベリングで閉塞誤差が合わず，10 時間ほど前から非常に急激な傾斜が始まったことが推測されたように，前兆現象は数時間前から起こることが多いようです．ということは，地殻変動連続観測の器械をテレメーターして見張っていればいいわけです．この部門の Istrumentation は非常に遅れておりますが，気象庁が容積変化を測る器械を，伊良湖，三ケ日，御前崎，静岡，石廊崎に埋めて東京につないでます．ですから，ある日突然それらが一緒に変わり始めたら，9 分 9 厘あと 2～3 時間ということになる．もっとも，そんなにみごとに変わるとは限りませんが……．ですが，万一極度に明瞭な前兆現象が起こったとしても気象庁は予報する義務はないのですね．何ひとつ具体的には定まっていないのです．

土岐　予報から来襲までの期間が短い場合には地震のくる前にパニックになる恐れがありますね．

浅田　前兆は長くて 4～5 時間前程度，もしかしたら 1 時間かもしれません．

土岐　「地震がくるぞ」ということをみんなが知ってからどうするか，必ずしも地震学者や土木技術者だけの責任範囲で片づく問題じゃないと思うのですが…….

浅田　ぼくたちの責任じゃないと思います．総理大臣の決めることだ，という人もいます．けれど，常識的には，やはり新幹線や高名高速を停めること，津波のき

そうなところの人を早く避難させることでしょうね．

土　岐　それに，テレビとラジオでいっせいに「火を消しなさい！」とアナウンスすることでしょうか．鉄道や道路の交通信号をただちに赤にするとか……．

浅　田　まじめに研究すべきでしょうね．

さしあたって何をしたらよいのか

土　岐　予知を行う方法はいろいろあるでしょうが，いま最も有望なことは，やはり地殻変動の監視なのですか？

浅　田　原則としてあらゆる地球物理的，地球化学的観測を全部すべきなんですが，直前の予知はやはり地殻変動連続観測でしょう．例えば東海地震が起こるとすると，御前崎の沖か，あるいは駿河湾の奥に地震計を置いて，がらがらっときたらそれが大きくなるかどうかを判定して本震全体の発生する 10 秒前くらいに直前の警報を出すということもできるわけでしょうが……．また，地震計の代わりに傾斜計のようなものを置いたら一，二時間前に兆候があらわれると思うのです．ただ，海の底に入れる地震計はやさしいが，海底用の傾斜計はまだない．しかし，傾斜の波長は非常に長いから，海底でなくても陸でも前兆をつかまえる役には立つので，東海地域に傾斜計をたくさん埋めておいて，全部東京にテレメーターしておくべきです……．容積変化計ももちろん同じ役に立つと思います．

土　岐　いまのお話は前兆で，前震とは別ですね．

浅　田　前震はない場合があります．先の中国の海城（かいじょう）地震，あれは数日前から前震があり，それが急に静かになったので危ないと判断した．それから，傾斜計のベクトル図が数日前から方向がくるっと変わったこと，さらに地電流の変化とか，また例の動物の挙動があったわけです．それと見ないと信じがたいのですが，井戸の水位が派手な挙動を示すらしい．ただ，地震学者は，あと1時間で起こるのか，1週間なのか全くわからなかったそうです．また，マグニチュードも6コンマ幾つじゃないかと思っていたらしい．でも，行政府の決断で，一番早い時間に一番大きい地震がくると仮定して行動を始めた．ですから，中国の予知があたったといっても，数日程度までは追い詰めたものの，ピンポイントにあたったのではないのですね．

土　岐　かつてある本で，「地震の予知というのは，糸を引っ張っておきまして，それがいつどこで切れるかをいえ」というのと同じだと書いてあるのを読んだのですが……．

浅　田　確率現象という意味では正しいですが，糸を引っ張っておいて，ここにほつれができたからすぐ切れるぞというのは，確定論的な関係です．

地震学の進展

土　岐　さきほど予知に関する知識がこの 10 年くらいの間に増えたとのお話でしたが，どの分野が大いに発展したのですか？

浅　田　日本もですが外国で大いに発達しました．まあ地震学自体の発達，細かな経験の蓄積です．それで，結論としては，やはり前兆現象をとらえることで，その性格もわかってきた．例えば，ある種の大地震では，M 8 ぐらいで 30 年も前兆が続くわけです．東海地震では御前崎から清水，また海域では遠州灘にかけて地震波の速度が非常にのろいことが問題になっています．爆破実験を行ったところ，清水より山側にかけての走時が普通の所より1秒遅く，御前崎その他での自然地震の到達時間もやはり1秒のろいのです．これがはっきり 0.7 秒になったら，もう大騒ぎですね．これは長期的前兆か終わりかけていることを示すと考えられます．ただ，全々変化の出ない場合，地震波の速度がのろいままの間は地震は起こらないかと聞かれると，そうですと保証できるほど研究が進んでいるわけではありません．あとは地殻変動連続観測で，数時間前の前兆をとらえて予報を出すより仕方がありません．

土　岐　その辺に関連して，例のショルツの理論など一時期，何か画期的なものに思えたんですが，少し時間がたちますと必ずしもそうじゃないですね．速度が遅くなるということもソ連では以前から詳しく調べられていたということですし……．

浅　田　そのとおりだと思いますね．

土　岐　それから，1968 年ですか，グローバルテクトニックスという私どもには耳新しい言葉が入ってきましたね．

浅　田　アメリカの人は，そうやって人を驚かすのがうまいですからね（笑）．

土　岐　地震学は，何かそういうグローバルテクト



土岐憲三氏
正会員 工博 京都大学教授 防災研究所
●耐震工学を専門とする若手研究者．堂々たる体躯，イタリア地震調査等に活躍．

ニクスあるいはプレートテクトニクスといった一連の考え方が出てから，それ以前と変わったように思えますけれど…….

浅　田　以前は，なぜ地震が起こるかということが教科書に書いてなかった．それから断層モデルの発展，これは地質学にとって根本的なものだと思いますが，この二つじゃないでしょうか．

工学との接点をみる

土　岐　その地震の断層モデルですが，私ども工学の分野の人間も，それに大変興味があります．構造物や施設の耐震性には，それを建てる土地での地震動が明らかなことが先決です．地震動は確率的にしかとらえられないという気がする反面，震源から伝わってきてる以上，もとの所へさかのぼれないかとも思うのです．また，地震動を設定する場合，逆に震源のモデルをつくり地震をシミュレートして地震波の経路を知ることで，構造物の挙動を明らかにできたらなと思うわけです．断層面での破壊に対しては，確率統計的な手法が要るんでしょうが波の伝播は特定の帯域についてはかなり確定論的な問題として扱える余地があるのではないかというふうに考えているのですが…….

浅　田　第一近似的にある断層面を仮定した滑り方を計算することにより特定の地震の波形とよく似た波形が得られますね．ただ，地震学のほうでは，1秒より短い波形はふつうの観測網（WWSSN）の地震計は十分記録していないので注意が要ります．ですから，それを微分して最大加速度を出すのは無理でしょう．同じくらいの規模の地震でも，ずれ方には速い，遅いの差がずいぶんあるようです．例えば 1946 年の南海地震などは，地殻表面の変形を測量で求めたものから断層モデルを使って震源を計算すると，震源が実際より，つまり余震域や浪域（津波の）より求められた震源域より広くなる．つまり，その部分は断層がゆっくり滑ったとしか考えられないわけでして，同じ断層ができても，激しい地震もあれば，そうでないこともあるのです．地震の長周期成分について，第一近似的に合う断層模型をつくることはできますが，ここに活断層があって，また，ある地点に発電所があるとき，発電所の受ける力を計算しよというのはやはり無理じゃないですかね．

土　岐　1秒以下のものが困難であろうことは予想できますが，最近は構造物の大型化に伴い，どうしても3秒，5秒といった長周期の波に対する設計が必要になってきております．ところが，この長い周期の地震動の分布というものは，逆に加速度計にとられていないわけです．そこで，この場合にはやはりどうしても断層モデルというのが目につきまして，なんとかならんかと…….

浅　田　1944 年の東海地震の際の経験ですと，1階の畳の上に座っていたら，震源と直角方向に 1 m も揺れたような感じでした．実際は数 cm でしょうが…….周期は 3～4 秒ほどだと思います．そこで今度東海地震が起きたら，高層ビルの上のほうで窓際にいたらはね飛ばされるんじゃないかという気がして恐怖を覚えます．

さて，次に断層模型の話ですが，例えば関東地震の断層面は 100×40 km ぐらいだと考えると，割れ目が毎秒 3 km で起こるとして，断層が完成するのに 30 秒以上かかるわけです．周期3秒というのはその 1/10 以上だから，境目になって，どれくらい意味のある計算結果を求められるか，役に立つかどうか．ただ，3秒くらいの波なら遠くまで減衰しないので世界観測網に十分かかります．その記録を参考になさるといいですね．

確率論でとらえきれるのか？

土　岐　地震動の研究では，実際の記録波形に合う断層モデルのパラメーターを求める．inverse の問題ですね．われわれは断層モデルをなんらかの方法で使いたいのですが，どうももとのところで発想の違いを感じて，せっかくの理論をうまく使いこなせないんです…….

浅　田　それは非常にいいお考えだと思います．

土　岐　ただ，それをやってみますと，結局，断層面でのローカルな破壊の問題にいってしまい，これはもう確率的な見地でないと処理できない…….スケールが小さくなるほど，確率的に扱わざるを得ない，そんな気がしています．

浅　田　ある帯域に限って震源はホワイトだと見なしたらいかがですか．責任は持てませんが…….

土　岐　地震ソースがホワイトでよければ非常に楽になる．現象としてはそう考えてもいいのですか？

浅　田　やはり非常に短周期が入ってますね．周期が長くても角がとがったものなら，ある帯域だけを考えればホワイトに近いとも思いますし…….現在の地震学者はいろいろ分かれていまして，例えば解析をする人，観測をする人……，解析の人は自分でデータを集めずに WWSSN など既存のデータを使うわけですが，そうすると1秒以下も長いほうも切れていますが，そういうことには地震学者は鈍い．その記録が完全なものとして議論を進めるわけです．だから，地震工学のそういう問題は，本当は地震学者の知識をあてにされるよりは，将来は自分たちで研究なさったほうがいいのじゃないかと思うのですけれども…….

例えば，周期の長い部分だけの計算でも，計算の仕方が悪いと結果にノイズがずいぶん入るようですね．短周

期の加速度 3～4 秒までもちょっと危ないという気がします．

土　岐　加速度の議論をした論文など見ますと，断層面でのランプファクションの形の違いで，微小な角があるかないかで，まるで違う波形になりますね．そうすると，そんな加速度レベルの波形を確定論的に扱うのはどうかと思うのですが……．

浅　田　同感ですね．境界領域の地震工学をやる人がもっといて，根本からやらないといけませんね．

土　岐　われわれ，物をつくろうという場合，入力地震動のタイプとしては二，三種類しか地震動の持ち合せがないんです．一つは，1940 年にアメリカ合衆国の El Centro でとれた強震加速度記録を代表とするような過去の大きな地震による強震記録で，どんなに小さくとも使おうということです．それと，それがない場合には，人為的に確率統計的な手段で地震波形をつくるわけです．この最後の方法でシミュレーションをするときに，各種のパラメーターの変動域にある大きさの網をかぶせておき，その中で確率的な現象として波形を合成しますが，その網の大きさが難しいのです．例えば，継続時間については，断層の長さを 100 km と設定することによって，断層面での破壊の伝播速度を 3 km/s とすれば継続時間 30 秒というような大ざっぱな枠はかぶせられますね．

浅　田　でも，地殻の heterogeneity のせいで反響みたいに長く続くのは，極端な場合は数十分もありますよね．表面波を考えるとさらにずうっと長くなります．

土　岐　地球のスケールでなくて，われわれのはもっと波長の短い波の問題ですので…．遠く離れた所で 100 km の断層が 30 秒で終わるとは申しませんが，震源に近い場合では 30 秒より短くはならないという意味で大枠をかぶせられる．けれど，ほかの問題になると一体どれだけの枠をかぶせたらいいか，枠からの変動は確率論で扱うにしても設定すべき枠は確定値でなければなりませんが，その辺になると情報が不足しておりまして，なんとか地震の専門の方々に教えてもらえないかと…….

浅　田　地震工学というべき部門の人をもっと養成しないとだめでしょうね．

地震工学部門を充実すべきである

土　岐　地震の専門家の中に，われわれの工学のほうに目を向けて下さる方がなかなかいないのは，層が薄いためでしょうか．あるいは，やることが多くて忙しすぎるということなんでしょうか？

浅　田　そうでもないと思うんですが，要するに地震工学のポストが必要なんで，やはり一緒に暮らさないと建築や土木の本当の要望が身にしみないんでしょう．

土　岐　われわれも，そういう場にどんどん専門家をお招きしていろいろな会合や委員会などにも入っていただいて，必要な知識を吸収させていただくよう努力しないといけませんね．

浅　田　ことに理論的計算の好きな人が混ざるといいと思います．

最大地動は？

土　岐　それと，私どもは物をつくろうとする場合，将来に起こりうる最大の地震として一体どんなものを考えておけばよいのだろうかを知りたいのです．わかったとしてもそれに対して絶対壊われないようにするなどとは申しませんが，大変興味があります．

浅　田　難しい問題ですね．リスボンでは，何百年も地震がなかった後，破壊的なやつに見舞われた．日本でも，内陸の地震は数百年とか千年に 1 回とか言われてます．地震の起こる所には活断層があるはずだという意見もありますが，地震を発生させる恐れのある活断層をすべて地質学的観測で決めることができるとはいいきれない．それに，古来，日本で起きた破壊的地震をプロットすると，全くの空白地帯がいっぱいある．そこには未来永劫起こらない地域も混じっているのかもしれない….

というわけで，福井地震の断層と同じ断層のその部分には少なくともあと 500 年ぐらいは起こらない，と言えます．ただ，福井地震の断層がいくら安全だといってもそのそばで別の断層に地震が起こるとやはり被害は出るでしょう．

土　岐　地震に限らず自然を相手の場合には，いつも人間は自然に先回りされますね．例えば，1962 年の広尾沖の地震では，400 gal ほどの加速度が記録されたがあまり被害がなかった．それで半ば期待も込められてでしょうが，500～600 gal なんていうのが加速度計で記録されるなどということは，めったにないんじゃないかなどと思っていたところ，例の 1971 年のサンフェルナンドの地震では最大加速度は 1 g を超えた．ダムのすぐそばの崖の上に地震計が据えてあったので，多少ローカルな振動が入ってはいるらしいが，それにしても 500～600 gal は出ているわけで，何かおまえたちの考えはまだだめだと，またもや先回りでもされた気がするわけです．そこで，地震の専門家の論文を読んでも，理論計算をしても，1 g ぐらいの加速度は出るんだということで，それが本当ならば，それくらいの地震は特殊な場合としても考えなくてはならないと思えるのですが，地震動には上限がありますか？

浅　田　松沢先生が昭和 8 年に書かれた本に，インド

の地震で砂利が全部飛んで跡だけ残っていたから g を超えただろうと書いてあるんです．東京に関係する地震の断層面は，関東大地震の断層と，安政地震を初めとする下町の下にある断層でしょうが，関東地震の断層は東京の下では数十 km の厚さになっているので，平塚あたりでは $1g$ になっても東京ではならないのではないでしょうか．でも，全然自信はありませんよ．将来，経験を積んで具体的に調べるより仕方がないでしょう．

土　岐　先の広尾沖地震について，金井先生が，400 gal も出たのに被害があまりなかったのは，構造物に余力のあることを示しているのだから問題は深刻ではないといっておられましたが，どうも反対のような気がするのですが……．これだけ余力があれば十分だと思っていても，いつかそれを上回るような地震が起こって，そこで新しい教訓を手に入れるというようなことの繰り返しが続くのだろうと思うのです．

浅　田　地震計は間違っていなかったでしょうか．

土　岐　よく調べて，確かだと報告されています．

構造物の耐震性

浅　田　日本の建築物や土木構造物は，外国よりずいぶんぜいたくにできているのでしょうか？

土　岐　そう思います．

浅　田　関東大地震以後そうなったわけですね．日本の経済力はそれに耐えてきたんでしょうね．

土　岐　経済力に余裕があったからこそ，これだけの構造物あるいは施設をつくれたんだと思いますよ．その点，よその国へ参りますと，建築物の柱や橋脚など非常に細く見えます．日本に帰ると，柱ばかりの構造物に見えましてね．

浅　田　地震のとき，日本では柱などのかげにもぐるんだそうですが，中国のホテルでは真中だけ4階ぐらいから下まで落っこちて，ベッドの下にもぐりそこねた人が助かった．ベッドの下にもぐった人は，1階まで落ちて夢中ではい出したという話です（笑）．

土　岐　この間も北イタリアの地震の後，1週間ばかり現地の被害状況を見て参りましたが，M 6.5 前後では日本ならば，鉄筋でも木造でもあんなに壊われなかったという気がしましたね．

浅　田　石を積み上げただけなんですか？

土　岐　ええ．11 世紀や 14 世紀ころの建物がずいぶん壊われていますし，最近の建物にしてもホローブリックというんでしょうか，中に穴のあいたれんがを積み上げたようなもので，たいていは崩れてしまう．石造りにしても，床材やはりの丸太材が落ちたり，壁が崩れたりしており，それらに打たれて死んだ人が多いわけです．鉄筋のアパートなんかにしても，日本だったらああはならないと思われるのが幾つもありまして……．図面を見たわけではないのですが，柱など非常に細くて，頼りなさそうな建物がたくさんありました．

浅　田　日本の高層ビルは計算してあるんでしょうが 12～13 階の中ぐらいのビルは大丈夫なんですか？

土　岐　建築物のことはあまり詳しくないんですが，高層ビルは，各種のファクターが比較的計算にのりやすいし構造的にも単純で，地震に対するチェックが行き届いています．また，構造物ができた後の観測でも，ほとんど予想どおりの応答波形が得られますので，ある程度の信頼性が保証されていると思います．しかし，規模が小さくなると，いちいち解析に組み込めないようなファクターが多くなります．そうなると，かえって構造的には強く考えられているんじゃないでしょうか．ですが，全く逆の目が出る場合もあります．1968 年の十勝沖地震の際に函館大学の建物が壊われたのがそれで，計算外の壁のためせん断を受ける柱の長さが短くなり，それで柱のせん断破壊が起こったんですが，多くの場合は，解析に入ってないものが強度を発揮するように思います．この辺の問題は，現在の耐震工学，特に不特定多数の構造物を対象とした場合の基本的な考え方にも関連してくるわけでして，例えば，周期 0.5 秒の建物が 200 gal の加速度を受けたとすると，仮に増幅されて 400 gal ぐらいの応答を示すことがあっても，すべての構造物を入力に対して倍の応答を考えて設計するのは経済性から難しいので，多少カットして 300 gal で設計してしまうわけです．あとの 100 gal は，けっきょく解析に入ってない，要素が強度に寄与するからそれに期待するとか，材料の強度を短期的な荷重のため割増して設計するという考え方があるんです．この辺が最近は問題になり，いわゆる安全性ならびに信頼性の理論を構造物の動的応答の問題に持ち込もうという考え方が，非常に盛んになっています．

耐震性と費用の問題は，構造物の地震に対する安全性，それに必要な構造断面と費用の二つをつなげて検討するわけですね．ところがその第一段階が実ははっきりしない．特に地震動は確率論的にしかとらえにくいし，構造物の破壊の問題も線形計算だけではとても追いつかず，非線形系の動的問題を確率論的に扱うとなると話ややこしくなるのです．その辺になると，あらゆる場合について，入力と出力の関係が1対1に量的に結びつくところにいってない．それならば，既存の構造物の被害の資料がたくさんあれば，それを使えばいいのですが，建築物はともかく土木構造物は種類が雑多なうえに被害例も統計処理に十分なほどには多くないので，バックデータがない．そこで，構造物の耐震性と費用という，い

わば耐震工学の分野でのソフトウエアが他の分野に比べて遅れているように思うんです．

浅　田　ぼくはいつも東海地震を気にしているんですが，橋がはずれる話は別にしても，新幹線の盛土なんかは波打ちませんか？

土　岐　平地の場合でも鉄道線路の動的な問題は難しく，ときどきある列車の脱線の問題は力学の計算にはのらないそうですから，まして地震時の脱線の問題は，予測できないんじゃないでしょうか？　これまでの震害の例では，やはり盛土は特に新しいものほど被害を受けやすい．例えば，鉄道には橋，高架，盛土などの部分がありますが，土のところがやられる．特にコンクリートの橋台と盛土の接するところが，片方は堅く片方は軟らかいので，そこで沈んでしまって線路が宙ぶらりになる．まず1回大きな地震があれば必ずどこかで起こります．

浅　田　盛土は何十年もすると固まって少しは下がるのでしょうか？

土　岐　土ですから，雨水がしみ込んでいくと締まってくるんでしょうか，古いものほど安全なようです．

浅　田　土はうまく計算にのるのですか？

土　岐　はあ，非常に綿密な計算がある場合には行われます．特に常時受けるような荷重に対しては…….

浅　田　スタティックな…….

土　岐　ええ．どれだけ土を盛ったら，何年間にどれだけ沈むかといった計算はよく行われています．ただ，必ずしも合わない場合もあるようですけれども（笑）．

起こらないという情報も欲しい

浅　田　もう一度地震の予知の話．東海地震ですが，あと 4～5 年か，50 年かはどうしても結論を出したい．そのためには，さっきの地震波速度の異常を見ることしか思いつかないんですが，あと 50 年も待ち続けることはだれにもできないと思うんです．数時間前の前兆なら計装を十分施こせばいいのですが，50 年，100 年先のことに二，三億円も出すのはもったいないでしょうし，そういうところが一番問題だと思うんです．

土　岐　私どもとしては，予知もさることながら，起こらないという情報も大変ありがたい．ものによって，耐用年限が 100 年も 200 年もいらない，50 年もてばいいものがあったら，その間地震がなければ助かるわけです．その逆な予知は，先生いかがでしょうか？

浅　田　例えば，伊豆半島の先端や福井地震の断層はあと何百年かは大丈夫と思います．だけど，非常に局地的には大丈夫でも，隣の断層の地震による被害があるので，ケース バイ ケースで調べ上げ判断することが必要でしょうが，これはだれもやったことがありません．だから，どうしても土木教室で地質学に近い地震工学の専門家を養成することが必要だと思うのです．地震予知もいずれは工学の問題になると思いますので…….その時代にはそういうネガティブな予知も原理的には可能だと思いますが…….

土　岐　特に原子炉などは過去に大地震のあった所につくりなさい．それ以外のどこへ持っていっても完全に安全だとは保証できない，とある先生はおっしゃるのですが…….

浅　田　地質学者の書いたものを見ると，日本中至る所に活断層がありまして，それが数百年間も活動していないことがわかるので，逆にいうとみんな危ないことになる．福井地震の断層，濃尾地震の断層にはすでに地変が起こったというように地図上で一つ一つぬりつぶしていけるのですが，地震が最近起こった断層は，非常に少ないですね．南海地震は最低 50 年はないと思いますけど…….関東地震も 50 年はない．ただし，房総沖の津波を起こす地震は，もしかしたらあるという調子です．南海地震みたいな大地震だとこういう議論をするとき隣の地震で被害を受けることを，あまり心配せずにすみますがね．

土　岐　断層というのは何億年という地質時代からのものであるのに対し，人間の歴史はわずか数千年，その間に動いたものの割合なんかきわめて少ないでしょうから難しいでしょうね．

浅　田　でも，日本は中南米なんかに比べて，土木，建築に関しては国全体がかなり耐震的なほうじゃないですか？

土　岐　世界のどこと比べましても，日本の耐震基準は最も厳しいものです．それに耐えられる経済力もあったんでしょうね．しかし，基準は物事が明らかになるほど要求が強まる傾向にあるので，そういった要望にどこまで耐えられるかというのは，これから先の問題ですね．

駿河湾地震は近い？

土　岐　ところで，先生は常々海底の地震を測定する必要を説かれていて，FAMOUS 計画というのですか，日本とは少し場所が違いますが，大西洋の中央海嶺での大プロジェクトがありますね．そういう海底での地震の測定とか，海底の構造を明らかにしようという計画は，いまほかにもあるんですか．

浅　田　日本は例のジオダイナミックス計画があと2年続くので，来年もその長距離爆破をやるつもりです．これは，大地震の発生の研究とは直接関係がない．海底下数百 km までの地殻構造を明らかにするのが目的です．プレートテクトニクスといっても板の存在など非常

に傍証的です．ですから，そのものずばりの証拠も調べてみたいと考えています．

土　岐　ドリリングなども含めてでしょうか？

浅　田　いま問題になっているのは 100 km 前後の深さで，無理ですね．それで思い出したのですが，駿河湾なんか 20 km ぐらいの深さに何本もドリルして，そこに水を圧入すると誘発地震が起こるかもしれません．もうかなり大きいかもしれませんがね．

土　岐　思ったより大きな地震が起きてしまうと大変……．

浅　田　ええ，困っちゃいますね(笑)．大きさはコントロールできないんですからね．

東南海地震と南海地震ですが，必ずぽんぽんと東南海地震，南海地震の順でいっしょに起こります．1日先のこともあれば3年先のこともありますが，同時に起こったことも二度あります．ですから 1944 年の東南海地震のときにあと3年以内に南海地震が必ず起こるといっておけば100% あたったはずです．事実，起こった．ただ，南海地震は海のほうなので，陸の地震より激烈という感じはしませんが……．何はともあれ，現在の所 1944 年の東南海地震の残りが駿河湾に残っているわけです．それから，東南海地震が起こって南海地震が起こるのは，プレートテクトニクス的には考えやすい．つまり，片方のたががはずれたのですぐ片方も起こりうる，という初歩的な考え方がいかにもよさそうですね．多分そうなんでしょう，本当に．地震というのは，内陸の地震も2個続いて起こることがあるんですが，同じ形式なんだと思います．

土　岐　論文で，東南海地震の断層面が二段がまえの変な形をしているのを見たことがありますが……．

浅　田　ごく最近ですね．あれは第一近似的に合わせたもので，本当に正しいわけじゃないんです．

土　岐　ふつうは矩形の断層に見えますが，東南海だけは何か二つのものを寄せ集めたような形でした．

浅　田　たくさん寄せ集めるほど地表面の変形の近似度が上がり，何十も集めればぴったりになります．

地震学と工学のはざま

土　岐　また話が飛びますが，耐震工学では，これまでは土地の上に施設が立ち上がっているというワンポイントの問題ですんでいました．つまり，高さ方向の振動が問題でしたが，最近の大都市の震災を考えると，平面的に広がった施設，例えば，ガス，水道，パイプライン，鉄道，道路とかのいわゆるライフライン施設の耐震性や，そのネットワーク機能の維持が問題になってきてワンポイントの問題では済まなくなりました．そこで，地震波が地平面をどう伝わるか，土地の動きの違いを考慮せざるを得なくなり，表面波の問題とかかわったり，あるいはポイントの問題にしても長周期が対象になってきた．そうなると，これまでの基盤から実体波が表面に伝わってくるという仮定で処理するのでは片づかなくなり，勢い地震波そのものの研究が不可欠となりましたがなかなかはかどらない．その辺の分野が今後の課題の一つじゃないかという気がしています．

浅　田　地震学では，表面波は 10 年から 20 年前にはやりました．主に非常に長い波長を使ってアッパーマントルの構造を探ったわけですが，結論的には表面波ではあまり立ち入ったことは言えません．ただし，耐震工学では，表面波で下を出すのでなく，下のほうはわかっていて，どういう表面波かであるかが問題なわけです．そういう立場の研究者はいま地震学者にはいません．そこで，くどいようですが，耐震工学の要望とわれわれの興味は非常に近いところですれ違う．いま地震学出身で耐震をやっている人は2人か3人しかいないでしょう．あとはパートタイマーです．インチキだと思うんですよ(笑)．地震学者が土木や建築をちょっとかじったのではだめでして，土木，建築の要望を専門家に近いくらいに理解している人のグループの育成が必要なんですね．

土　岐　工学のほうの人間にしても事情は同じで，地震そのものについては少しかじっただけなので本当のところまではいけない．何かありそうなんで手を出したいが，やはり二の足を踏む．

浅　田　お互いにそれは難しいんです．

土　岐　その点アメリカの CALTEC の人なんかは，工学の出身にもかかわらず，BSSA なんかに地震学者のような論文を次々に書く．少し違うようです．

浅　田　東大地震研究所は一見大きいようでそうではないですから，地震工学部分だけの研究所があってもいいですね．地震でことに理論的な問題で学位をとりたての人なんかは，地震工学の近くにいると思うんですが，地震工学をやる人は非常に少ない．就職先もないですし……．ですから，やはり研究所みたいなものが要りますね．そういうところに，土木，建築の人が 10 に対して，3 ぐらいの割合で地震の人がいれば大変いいと思うんですけれども……．

土　岐　震災を考えたら，少々の投資でしょうにね．

浅　田　ロケットを上げればすぐ何百億でしょう．

地震予知の次にすべきことは？

土　岐　ロケットは次の世代の科学技術の発展に寄与しますが，地震はわれわれ世代のさし迫った問題です．何十年か先かには，東京は100% 地震に見舞われること

ですしね．

浅　田　でも，100 年先の地震ではまじめに考える気にならないらしいので，東海地震が5年先かどうかを決めたいと思っているのです．まあ，地震学者自身が，そういう面で社会的に対応できるほど組織化されていないので，地震予知も現在のレベルにとどまっており，具体的に東海地震の被害予測もきちんとできないわけです．滑るのが遅かったために $M8$ を予測していたのと実際は7.2だった，つまり震源は広いが震動は案外やわらかかったということもあるかもしれない．

土　岐　週刊誌に浅田先生が東京に住んでおられるので，大地震はまだ大丈夫だなんて記事がありましたね．

浅　田　下町を除けば住めると思いますが，静岡，沼津はやはり不安です．静岡大には赴任しない(笑)．1854年の地震では，沼津辺まで震動は激烈でしたしね．

土　岐　5年先がはっきりしたとしても，それから先の対応は全く心もとない限りですね．

浅　田　あと数年で起こることがはっきりしたら，根拠のある被害予測を行えば，少しは考えられるのでしょう．

土　岐　被害予測のほかにも，避難場所の指定などのほかにするべきことがたくさんありますし……．

浅　田　中国のようにテントに引っ張り出すのは，日本では無理でしょうね．

土　岐　わが国では，中国でやっているような強制力はないわけで，そういうことはあまり考えられていないのではないでしょうか．地震発生時の対策については，多少の啓蒙活動は行われていますが，それ以前の対策は全くない．その辺は一体どこで考えるのでしょうか？

浅　田　国土庁の防災会議が考えるべきでしょう．

土　岐　近い将来に地震があるとわかったら，それに関連したことがらに対しては，ある程度の強権をどこかが持つことは必要でしょうね．

浅　田　総理大臣の決める問題でしょうか．だからあまり党務にかかわりすぎるのはどうも……(笑)．

土　岐　東京の江東地区や大阪の一部のような再開発地域に防災・震災対策を組み込むのはまだしも，既成の都市全体に対策を施すのはとうてい不可能ですので，地震がくる前に何かを――人間は逃げるとか，危険なものは捨てるなりシャットダウンするなり，そういった種類の対策を地震発生前に考える必要があるでしょう．

浅　田　同感です．しかし，具体的な対策となるとちょっと……．どうにかなるさという考えと，100 年先という考えが混ざっているんですね．

土　岐　切実な危機感がないと動けないですね．

浅　田　河角先生の 69 年説は，東京の震度5以上の地震を全部まぜ合わせて統計をとられたもので，わりと期間が短くなったですね．先生もご存知だったんでしょうが，東京の地震は相模トラフから入ってくる関東大地震と東京の下に起こる地震の2種類があるので，あたりかまわず統計をとる時代は過ぎ去ったと思います．ひずみ方がたりないから，あと 50 年は安全だというふうに議論を進めるべきです．下町の直下地震はわかりませんがね．

関西では，地震をあまり気にしないそうですが……．

土　岐　ええ．地震の数も少ないですし，意識に違いがあります．私ども自分の欲しいデータもめったにとれませんし（笑）……．東京近辺だと有感地震が1月に1回ぐらいあるんじゃないでしょうか？

浅　田　小さいものを含めますと 40 回前後ありますね．1月に1回は，わりと立派なやつです．予知と対策については何もないですが，国土地理院の地震予知連絡会，科学技術庁主宰の地震予知研究連絡推進委員会があります．予知の研究を行政に反映させるものですが，工学部的ではなくて全く理学部的範囲にとどまっていますね．考え方は……．それから，中央防災会議というのがありますので，地震の起こると予報されてからの話はそこで考えるべきだと思います．

土　岐　どうも長い間ありがとうございました．それではこのへんで終わらせていただきます．

（**文責・編集部**／昭和 51 年9月 25 日　土木図書館5号室にて収録．）

マークは語る

北陸電力株式会社

昭和 26 年5月1日，電気事業再編成により発足した北陸電力は，社章を広く一般公募して，同年7月 12 日にその決定をみた．

電気を表わす稲妻模様で「北」を表わし，それをとりまいて，和を象徴する輪で「リク」を表わしている．

すなわち，発足当時，他電力会社に比し大きな供給力不足のハンディキャップをおいながら，北陸地方の社会経済発展の基盤作りに，リーダー的役割を果たすことをモットーに，社章が示す和をもって開発した発電設備は，常願寺川有峰発電計画（JAP）をはじめとして，当初の 346 MW に対し，25 年間で 2 557 MW（7倍）に達している．

「みんなの自然，みんなの社会，みんなの電力」の標語とともに，すべての広告，印刷物，社内新聞はもちろん，社旗，社員バッジ，社有車など，あらゆる面で地域の皆さんの目になじまれているが，さらに火力，原子力発電所の立地など，地域住民の理解と協力を求め，地域発展のため今日も北電マークの車が，北陸のすみずみまで走っている．

（山下昭市・記）