

地震と私たち(5)

増田 徹

4. 地震の測りかた

4-1. ゆれを測る

動かざることの喩えに用いられる大地も、地震でゆれ動きます。この現象は、現象自体純粹に驚きであり、また純粹に不思議です。さらに、地震は残念なことに、ときに災害を伴います。この驚きと不思議さと怖さの故に、わたしたちは地震を意識せざるを得ません。

地震でわたしたちが感じたゆれは、どのように特徴づけられるのだろうか、そのゆれを引き起こした震源では、どのようなことが起こったのだろうか、このゆれに打ち克つにはどうすればよいのだろうか、地震を体験するたびに、地震に対するさまざまな思いが、地震とのさまざまな係わりあいの中から生まれます。

これらの問題意識は、地震に対してすぐさま起こるものですが、その分本質的です。問題解決には、基本的なところを一つ一つ解きほぐしてゆくことが重要であることは、他のすべての驚きや不思議のもとに対するときと同じです。

地震の場合、それぞれの問題を解きほぐしてゆく基本的なものは、もちろん、地震動の観測です。地震の問題を解き明かすには、地震現象を定量的に測る以外にないからです。出発点は地震観測です。

余談的になりますが、自然科学でも社会科学でも、およそ科学的問題を解決しようとするとき、現象の観測と理論の組み立てが有効な手段で、二つは互いに対蹠をなしています。科学が進展してゆくためには、この二つの手段が潔い競争をすることが不可欠です。地震に関しては、観測資料が不足して理論の組み立てを育むまではいたっていないように思います。それぞれ個性的な地震ですが、ある特定地域で大きな地震となると、何十年、何百年と待たないと起こらないことも原因しているのでしょうか。なにしろ、近代的地震観測は、まだ、百年そこそこの歴史です。

地震の観測、つまり地震による「ゆれ」を測るには、測ることを意識して「ゆれ」を定義する必要があります。まず、ゆれをどのように表現するか、次に、どこから何のゆれを測るのかを決めなければなりません。

「ゆれ」とは、ものが動くことです。それは、ものの位置が時間とともに変わることをいいます。ものの位置は「変位」と呼ばれます。「ゆれ」を変位で表わすことは直接的で

す。いつどこにあったかと表現するわけです。ゆれは変位が時間とともに変わることですから、変位の時間変化率、すなわち「速度」、あるいは速度の時間変化率である「加速度」でも表現できます。いつどのくらいの速さで、あるいはいつどのくらいの加速度をもって動いていたかとなります。ゆれが、変位、速度、加速度のいずれで表現されているかを意識することが重要です。

どこから何を測るかについては、基準となる不動点から対象とするものの時々刻々の動きを測ることになります。つまり、対象物の基準点に対する相対的な動きを時間を追って測ることになります。ここで注意することは、基準点が真に不動点であるかどうかではなく、不動な点として基準とすることが、ゆれの測定にとって本質であることです。宇宙の中に不動点を捜し求めることの無意味さは相対性理論の教えるところでもあります。

特急列車の走行中に食堂車のテーブルの上に置かれたコーヒーカップのゆれ、あるいは超L S I 製造中に端子間を導体で結ぶ精密機械の微妙なずれを測るならば、食堂車のテーブルに固定された点とコーヒーカップの1点、あるいは超L S I チップに固定された点と精密機械の1点との相対的位置を測ればよいことになります。地震の震動の場合でも、床の間に置いた花瓶のゆれ、あるいは部屋の天井から下がった電灯のゆれを測るならば、床の間あるいは天井に固定したカメラで、電灯あるいは花瓶の1点を追いかければよいことになります。このように、ゆれを測るとき、基準点が定まってしまえば、測定方法はいろいろあり、測定は容易である印象をもちます。

ところが、地震は大地のゆれです。地震による大地のゆれを測らなければなりません。これが想像以上に難しいのです。何故かという、基準点あるいは動かないと仮定できる不動点をどこに求めればよいか、ちょっと考えても見つからないからです。ゆれの測定の対象である食堂車のコーヒーカップ、超L S I 製造の精密機械、電灯、花瓶に対しては、食堂車のテーブル、超L S I チップ、床の間、天井がゆれを測る基準として存在しています。地震は、わたしたちの周囲の大地全体をゆらしますから、不動点が存在しないことになります。

わたしたち、そしてわたしたちの係わる一切のものは大地の上にあります。無意識のうちに、大地は、わたしたちの周りのものの運動の基準点になっています。天動説的です。すべての基準となっている大地の動きを測るわけですから、難しいのも当たりまえです。大地に対しては、理想的な基準点、すなわち不動点とみなしてよい点は、宙に浮いた点以外には存在しません。宙に浮いた点は固定できません。固定すれば宙に浮かなくなるからです。

次善策として、不動点に近いものを捜すことになります。言い換えれば、宙に浮いた点に近いものを探すことになります。宙に浮いた点の欠点は固定できないことで、固定できる点の欠点は宙に浮かないことです。原理的に、大地から離れなければ大地の動きの基準

になれないわけですから、これらの欠点を補うには、宙に浮いた点を弱い力で固定し宙に浮いたように固定すればよいことになります。このような考えから、地震計が誕生します。

4-2. 地震計の発明

世界最古の地震計としてよく紹介されるのは、中国後漢時代、1800年以上前の張衡の地震計というものです。龍の口に玉が不安定に置かれていて、その下で蛙が大口をあけて待ち構えているものです。

地震計の歴史はその後ずっと間があいて、18世紀の初めのフランスまで飛んでしまいます。この地震計も張衡の地震計と同様で、脇に溝のついた皿の中に水銀が満たされたもので、溢れ出た水銀の量から地震の有無と大きさを推定しようというものです。

これらは、地震計といっても、地震のときの大地のゆれの時々刻々の様子を測るのではなく、一定の大きさ以上の大地のゆれがあったかなかったかが知れる道具です。大地のゆれの様子を測る地震計の発明はそんなに古くはありません。そして、じつは遠い国のことでもないのです。

近代的な地震計の発明は、明治の初めのころの日本での出来事です。当時、日本に教師として招かれていた外国人の考案製作になるものとされています。地震計と地震観測は、文明開化の産物でした。近代地震学は日本で生まれ育ったのです。その伝統は現在に引き継がれています。

その後、地震計に関しては、さまざまな改良が見られますが、現在の地震計も発明当時の原理とまったく同じ考え方からできています。大地のゆれを測る基本的手段に関しては、明治以来100年以上、まったく進歩がないことになります。

時々刻々の大地のゆれの様子を測ることのできる地震計のしくみは、いわれてみるといったって簡単です。それは、振り子の原理です。宙に浮いた点を宙に浮いたがごとく弱く固定するという原則を実現したものが、振り子となるわけです。力学でいう慣性の法則をうまく利用しています。

地震計として働く振り子は、大地に固定された支点と、支点到バネでつながった重りからなっています。地震が起きて大地が振動すると、その振動によって支点到力が与えられ、支点到大地とともに振動します。ところが、重りは慣性の法則によって元の位置にじっとしてようとします。そこで、重りを不動点として、支点到の相対的動きを測れば、地震時の大地のゆれが測れるわけです。地震計は、大地のゆれを入力として、振り子の重りと支点到の相対的動きを出力として取り出す工夫をした装置です。支点对して重りが上下に振動する振り子を用いれば上下動地震計、水平に振動する振り子を用いれば水平動地震計となります。

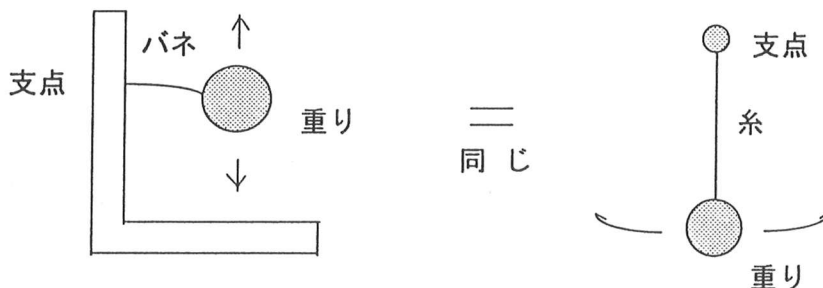
重りが不動点になり、振り子が地震計として働くとなれば、すべて解決したかという、

なかなかそう簡単ではありません。重りは、慣性の法則によって、確かに元の位置にじっとしてようとします。しかし、重りは宙に浮いているのではなくバネがついていますから、バネをとおして力が伝わり、支点が振動すれば重りも無事ではすみません。

支点が振動しても重りが耐えて、なんとかじっと静止してくれればよいのですが、残念ながら、大地がどのように動いても静止していただけるように重りを支点につなぐことはできません。地震計の初期の改良は、必然的に、重りがなるべくじっとしていただける工夫に重点が向けられたようです。慣性が要点だから重りを重たくすればよいということから、何トンもある地震計も作られています。

やがて、地震計、実は振り子の運動に関する研究が進み、宙に浮いていない重りを基準とした場合の、大地のゆれを測るための理論的基礎が確立しました。この理論も、確立されたものを振り返るだけならばいたって簡単なものです。振り子の運動のすべての特徴は、振り子の固有周波数と減衰定数という、たった2つの量で完全に決まってしまう。結構複雑で難しそうに見える地震計にしては、固有周波数と減衰定数のたった2つの量で、その特性がすべて決まってしまうのはちょっと意外です。複雑にみえて案外単純にできているものです。

地震計の特性を理解するために、振り子を手を持ったつもりで想像で実験してみましょう。このような思考実験は、しかつめらしい方程式とにらめっこするよりも、身近な体験に基づいた、より本質的なものが見えてくることがあります。地震計は、それに、たった2つの量で特性が決まるわけですから、思考実験も簡単です。

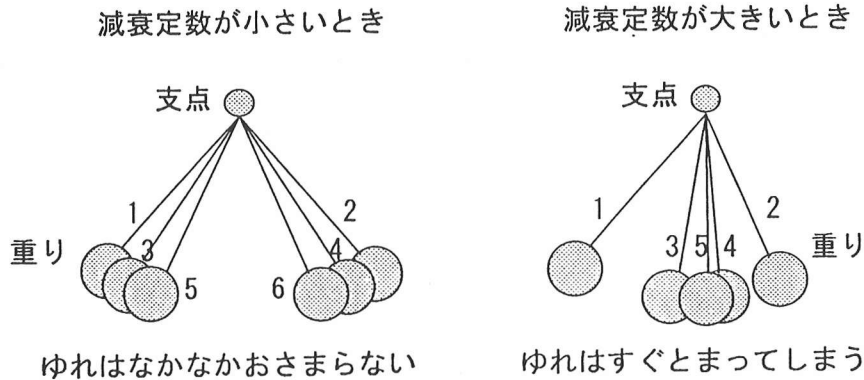


地震計は、重りが支点到バネでつながった振り子を利用していますが、重りを糸で垂らしたただけのもっと身近な振り子を使えば、実際に手にとって実験できます。どちらも振り子は振り子です。振り子の理論は、実際の構造がどうあろうと、振り子であれば適用しますからかまいません。理論のいいところです。

まず、振り子の支点到手を持って重りを弾いてみます。こうすることで、振り子に単発的な力が与えられます。すると、振り子の重りは振動を始めますが、このときの振動の周波数が、振り子の固有周波数です。地震計に利用されている振り子の固有周波数は、振り

子の腕の長さ、重りの重さ、バネの強さで決まります。重りを糸につないだ振り子では、糸の長さで決まります。

重りは永久に振動し続けるのではなく、ゆれ幅は振動するごとに一定の割合で小さくなり、いずれ停止します。振動1往復あたり、振り子のゆれ幅が何割小さくなるかを表す定数が減衰定数と呼ばれています。減衰定数は、重りが振動するときの速度に比例して働く抵抗力に関係しています。減衰定数が小さい程振動は長く続き、減衰定数が大きい程すぐに停まってしまうことになります。

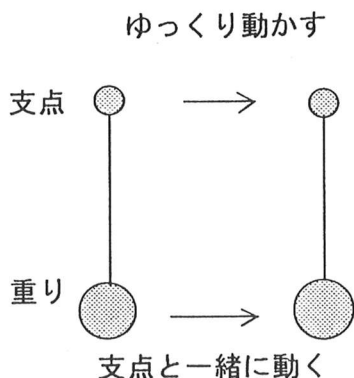
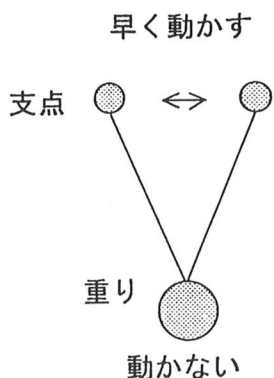


減衰定数がさらに大きくなると、単発的な力を与えても重りは振り子振動をしなくなり、片方にゆれたあとゆっくりと元の位置に戻るだけになります。重りが元の位置の両側に振動するかしないかの境目の減衰定数を臨界減衰定数と呼びます。

次に、減衰定数の小さな振り子の支点を手にもって、固有周波数と同じくらいの周波数で動かしてみます。支点を持っている手の動きと重りの動きがぴったりあってくると、重りの振動はだんだんと大きくなってきます。除夜の鐘を突くとき、あるいはブランコにのるときと同じように、振り子の重りとそれにかかる力が共鳴するためです。減衰定数が小さい程共鳴したときのゆれ幅は大きくなり、減衰定数が大きければ共鳴してもゆれ幅はあまり大きくならないことも、直感的に理解できます。

今度は、支点を振り子の固有周波数よりもずっと早く動かしてみます。支点が忙しく動くわりには、重りは静止しているように見えます。振り子にとってみれば、支点の動きが早すぎるためにバネからの力がめまぐるしく反転し、どちらにも動けず静止しているのです。

重りが宙に浮きました。重りが宙に浮いたように固定するというのは、測りたい大地のゆれの周波数に比べて振り子の固有周波数が充分小さくなるようにすることでした。このとき、重りは宙に静止しているわけですから、重りに対する支点の相対的な変位は、まさに大地のゆれの変位を表しています。



最後に、支点を振り子の固有周波数よりずっとゆっくりと動かしてみます。このときは、支点と重りを合わせた振り子全体がゆっくりと運ばれるだけで、支点と重りとは相対的には動かず振り子運動はほとんど見られません。柱時計をそっと運べば振り子はゆれません。しかし、うまくゆっくりと動かさず少しぎくしゃくするとゆれてしまいます。ぎくしゃくが激しいほど振り子はよくゆれます。ぎくしゃくするということは支点の移動速度が変化し支点に加速度を加えることになりますから、重りの変位は、支点に働く加速度に比例することになります。重りは宙に浮いてはいませんが、振り子の支点、すなわち大地にかかる加速度をうまく測ることができます。

頭の中での実験からわかったことは、まず第一に、振り子は地震計になるということです。次に、振り子の重りに対する支点の変位は、宙に浮いた基準点に対する支点の変位と同じであるとは限らないということです。そして、これらの関係は、支点の動きの周波数と振り子の固有周波数、ならびに振り子の減衰定数に依存するということです。地震計では、振り子の支点は大地に固定されていますから、地震計の出力変位と宙に浮いた基準点に対する大地の変位との関係について、同じ事がいえることになります。