

中学校「理科」で震源モデルを学びたい 大川小児童の思いを語り継ぐためにも

富山大学人間発達科学部 林 衛

マグニチュードの大きな地震ほど、大きな断層によってもたらされ、長時間にわたる強い揺れと大きな津波をもたらす。地震の原因と結果をつなげるこの一般的性質は、1980年代ごろに確立した震源の断層モデルによってよく理解できるようになった。しかし、中学校「理科」では、明治の大発見である破壊の開始点としての震源決定を強調するものの、いまだに断層モデルを学べない。「地震のエネルギーあるいは規模」として極めて抽象的に導入されるマグニチュードを定量的、半定量的に理解し、震源や地震の多様性の知識を活用するために震源モデルは効果的である。

1. 超巨大地震がもたらす大津波

2011年3月11日、富山大学の研究室で面談相手の学生の「地震です」との声で地震動に気づいた。ガタガタと揺れは続く。もしも、このやや強い揺れが初期微動であれば、この後に来る大きな主要動によって、耐震改修をしたとはいえ鉄筋コンクリート4階建て築40年の校舎に被害が出るかもしれない、緊張感が高まった。

しかし、そこまで強くはならないものの、揺れは収まることなく続いた。継続時間が1分を越える主要動が到達しているのだとしたら、遠方の大きな地震に違いない。そう考えながらコンピュータ画面に目をやると、Yahoo!トップページに宮城県栗原市で震度7と出ているではないか。30年確率が高いとされていた宮城県沖地震だろうか。いや、マグニチュード7.5程度の宮城県沖地震で富山がこれほどまで強く揺れ続けるとは考えにくい。計測震度は観測点の状況によって、ときどき高めの値を出す場合もあるが、最大震度6あるいは7をもたらす、マグニチュード8以上の巨大地震が東北地方で生じたに違ないと直観した。

尋常でない揺れから超巨大地震を直観した人は決して珍しくはない。宮城県名取市防災安全課防災担当係長も、緊急地震速報が鳴った直後、「予測されていた宮城県沖地震が来た！」と思ったが、強い揺れが長く続いたので、違う地震ではないかとも感じたという（東日本大震災第三者検証委員会、2014）。

2011年東北地方太平洋沖地震による大津波で、学校にいた児童74名、同教員10名、迎えに来ていた中学校生徒3名、人数が把握できていない大川地区住人が犠牲となった宮城県石巻市立大川小学校でも、巨大地震の可能性を直観した児童、教師がいた（東日本大震災第三者検証委員会、2014）。この地震発生の2日前、2011年3月9日11時45分に発生したマグニチュード7.3の牡鹿半島東沖を震源とする地震によって、児童たちは教師の指示のもと校庭避難を経験した（図1）。

その日に押し寄せた津波は、そのさらに1年前の2010年2月28日に到来したチリ地震津波に続き、三陸沿岸の養殖場に被害をもたらしている



図1 2011年東北地方太平洋沖地震の2日前に発生したマグニチュード7.3の地震を伝える新聞記事

(2010年チリ地震の際は、大津波警報にもとづく教職員の指示によって、大川小でもスポーツ少年団・野球チームが練習を切り上げ帰宅したとの証言を筆者も現地で聞いている。同様の証言が、大川小事故検証委員会報告書(大川小事故検証委員会、2014)にも紹介されている)。

2日前のマグニチュード7.3の地震時よりも激しく長い、尋常ではない揺れを感じた児童たちの中から、大津波が来るので「山さ逃げよ」との声が上がったと現場生存者らが証言している(例えば、池上・加藤、2012; 2014)。地元の子どもたちは、大きな地震の後には大津波が来るという経験則を、1年前と2日前の自らの体験や祖父母世代からの伝承などを通して実感していたのだ。

2. 大津波からの避難を訴えた大川小児童・教師

唯一の現場生存教員(教務主任)は、理科が専門で実験を取り入れた授業が児童からも評判だったという(筆者による聞き取り)。北上川対岸の相川小学校勤務時代に同校の避難マニュアルを書き換えるなど地学知識をいかしていた経験もあった。2011年3月11日には、校長不在(私用で年休をとり、内陸部滞在)のもと現場管理職トップであった教頭に、学校の裏山への避難を提



図2 大川小裏山（上二つ）とマニュアル以上の避難をした小学校裏山（左下），国立立山青少年自然の家「トントンの森」（右下）の比較

巨大地震発生に危機感を抱いた児童，教師，迎えに来た保護者らが避難を提案した学校裏山には，体育や遠足以上の危険はなかった（詳しくは，林（2014b-d））。

案していた。遺族や早稲田大学西條剛央講師による聞き取り調査によって，教頭，教務主任に加え，志津川（現南三陸町）出身の安全主任の少なくとも3名の教員が山への避難を口にしていたとの証言が得られている。教員集団に津波への危機感がなかったわけではない（林，2014a-d）。

教務主任は，石巻市教育委員会の聞き取り調査に対し，裏山への避難を教頭に提案したが，決断・返答がなされなかったので，校舎2階に避難場所を探した旨の説明をしている。新北上川堤防沿いの沖積平野，海拔1~2mの低地に位置する大川小学校に津波による浸水が生じる可能性があると判断したので，2階建て校舎の1階ではなく2階に避難場所を探していたのだろう。すなわち，2階を越えて浸水するような10mもの巨大津波までは予測できていなかったとしても，校庭や校舎1階が浸水して生命に危険が及ぶ津波到来への備えを始めていたと考えられるのだ。

マグニチュード7.3の地震よりもはるかに大きな地震（当初は気象庁マグニチュード7.9と過小評価されたが最終的にはモーメントマグニチュード9）の強い揺れが長く，2分半も続いたのだ

から，2日前よりもはるかに大きな大津波が来るに違いない。このように，地球物理学的に正しく直観していた（マグニチュード7.9とした気象庁速報よりも正しかった）児童，教師がいたのである。この直観にもとづいて，児童は裏山への避難を訴えたのだと考えられる。なお，日本各地で広帯域地震計が振り切れているのをわかっていたにもかかわらず，気象庁が過小評価となる値をそのまま発表してしまった問題については，気象庁（2012）に加え，横山（2012），佐竹・堀（2012），島村（2013）を参照されたい。震源過程や震源の大きさを，得られた地震波記録から遡って復元するという複雑な逆問題を解きながら速報がされる。速報をどう評価するのか，直観的にわかる情報をどう活かすのか，この課題は今後もおこりうる事態であり，科学リテラシーのための理科教材の題材としてもふさわしい事例だろう。

また，児童の直観，それにもとづく裏山避難提案を支えた要因として，裏山についての経験もあるだろう（図2）。「图画工作」の時間に写生で使われたり，野球のバットの原料になるアオダモを児童たちが植林した「バットの森」があつたり，

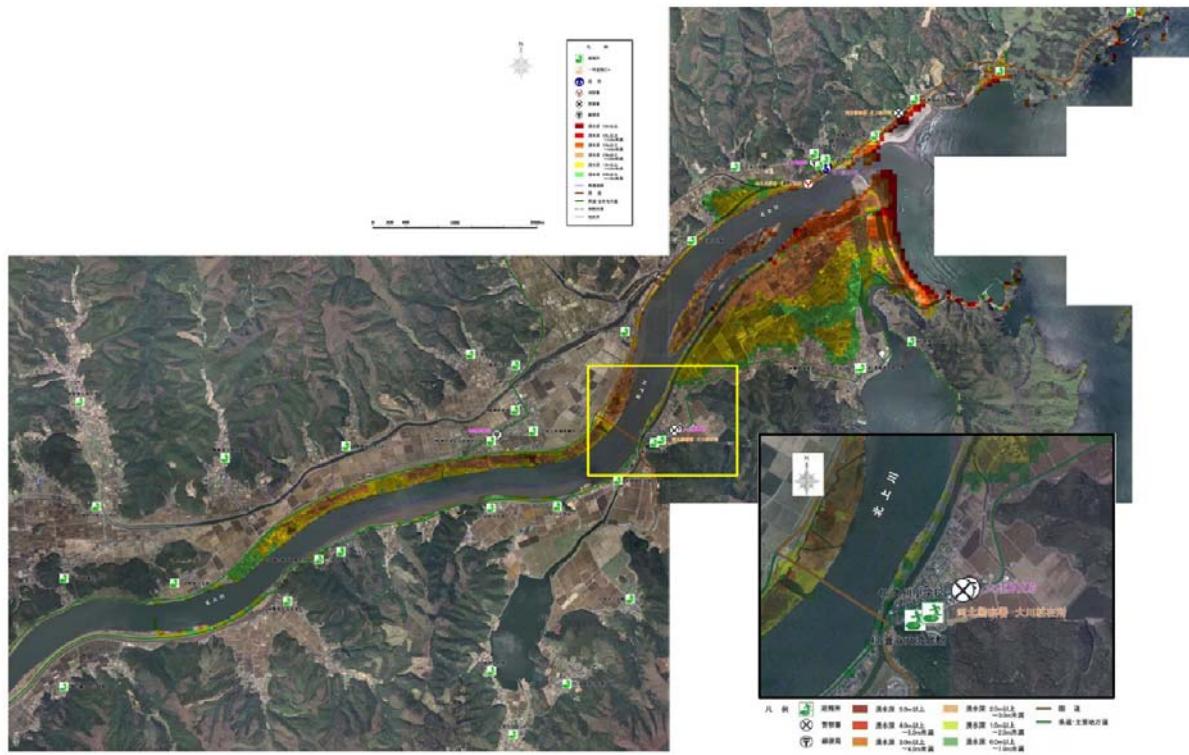


図3 石巻市が市民に配付していたハザードマップ（大川小は図中央の北上大橋たもと付近）
太平洋に連なる追波湾に注ぐ新北上川（旧追波川）河口から 3.5 km も内陸、大川小の 500 m 手前まで津波が遡上するとの警鐘が鳴らされていた。検証委員会による事実情報に関するとりまとめ（2013年10月22日）では、右下のように大川小学校付近（全体図の黄色で囲んだ部分）を切り出している。

祖父母の世代から代々高学年男子を中心に探検遊びの場ともなったりしてきた。筆者が実際に裏山を登ってみたところ、緩斜面に続き、やや急な登りとなるが、多少きつくとも約14分で平らな林道にたどり着いた。林道をたどれば山の向こう側に降りられる。学校教育の視点でみたら、体育や遠足以上の危険は特ない裏山である。土地勘があれば、避難したくなつて当然の裏山だったのだ。津波来襲時に眼鏡を失った教務主任が、生存児童（裏山経験は高学年に比べ少ないと考えられる）とともに裏山を越え、この林道を学校の反対側まで降りたのも、土地勘があったからだろう。

3. 3.5 km もの津波の陸上遡上が想定されていた
東日本大震災前に石巻市が市民に示していたハザードマップには、太平洋・追波湾に面した新北上川河口付近の長面地区から大川小学校のある釜谷地区に向けて、陸上を 3.5 km も津波が遡上することが図示されていた。新北上川水面、河川敷の津波遡上、すなわち堤防よりも河川側の津波遡上は 10 km 以上に及ぶ。堤防からあふれる津波も計算結果に含まれているように描かれているが、河口付近から 3.5 km も沖積平野を津波が遡上し、浸水させるとの予想図なのだ（図3）。

2011年3月11日午後4時すぎ、ヘリコプター

による NHK テレビ中継で名取川に沿って仙台平野の奥へ奥へと津波が遡上した場面に筆者も驚かされたが、石巻市のハザードマップには、想定宮城県沖地震（マグニチュード 8）による内陸へおよそ 3.5 km もの津波遡上が明示されていたのである。大川小学校は図示された想定浸水域のほんの 500 m 先にある。

石巻市ハザードマップの注意書き（下記の枠内）には、浸水予測の誤差、津波地震による津波の励起の激しさ（明治三陸地震では体感震度 3 や 4 でも大津波が来た）に関する記述もある。

避難の心得 津波編

いざという時のために、日頃から避難に必要なものを整理し、避難の手順について家族で話しあっておきましょう。

高い場所に避難

強い地震（震度 4 程度以上）を感じたとき又は弱い地震でも長い時間ゆっくりとした揺れを感じたときは、直ちに海岸から離れ、高台など安全なところに避難しましょう。

理科専門の教務主任が裏山への避難を提案した根拠として第一に考えられるのは、このような一般的知識だろう。

想定外の巨大地震・津波であったが、多くの学校では想定以上の避難が実施されて、命が守られた。想定をもとに、それ以上の事態だと判断し、想定以上の避難の決断をしたということになる。大川小でも過去の経験や想定をもとに、想定以上の津波来襲の危険性を直観・判断していた児童、教師がいたのだが、その直観が集団行動の中で避難に結びつかなかった。児童は教師によって校庭に留め置かれ、教務主任の裏山避難提案は実行されなかつた。

大津波からの避難が必要だという判断がなかったわけではない。しかし、集団としての決断に至らなかつたために50分間も校庭にい続け、1mの垂直避難さえできなかつた。それはなぜか。検証可能な論点は残されている。危機感があつたのであれば、危機感が強く共有されなかつた原因が検証課題となる（2009年に宮城県教育委員会は職員会議を諮問会議化し、報告・議論は可能だが、決断・決定は管理職の専権事項となつた。この点も影響した可能性がある。校長不在時の現場責任者の教頭は、逡巡の結果、慎重に考えたまま決断を先送りにしたのだろう。3km先の役場まで児童を教師や保護者などの自家用車に分乗させる避難を決断した山元町立山下第二小学校でも、校長は「もしも津波が来なかつたら」と逡巡したという（林、2014b-d）。

3.5kmもの津波遡上を明示していた石巻市のハザードマップは石巻市職員や宮城県教員の研修の際に、どのように扱われていたのだろうか。大川小事故検証委員会は研修の開催の日時や回数は調べたが、研修の参加者、講師、企画者に確かめれば検証可能であるにもかかわらず、研修の内容はほとんど検証していない。もしも研修の結果として、検証委員会報告にあるとおり、大川小は地震津波時の避難所に指定されていたので安全な場所だと思い込んでいたのだとしたら、ハザードマップの読み方を間違えていたことになる。

どのような性質の間違いだろうか。教員研修や富山大学（勤務校）での講義で大川小の事例を紹介し、ハザードマップの予想はマグニチュード8を前提にしたもので、予想に用いる理論や計算が正しく現実を反映していたとしても、マグニチュードが変われば予想される津波の高さや浸水域も変わりうると説明する。すると、受講者たちはハザードマップの予想に前提があること、想定以上の地震が起これば想定以上の津波がくることという、いわば当たり前の帰結を実感する。想定をいかし、想定外の事態を想定外としないトレーニングとなるのだ。

失敗を失敗というのはたやすいが、シミュレーションの原理や意義をいかすためには根拠をたどる批判的思考が重要であり、根拠をたどり原理や限界、ヒントを考えようとする習慣は津波想定

に限らずさまざまな場面で役に立つだろう。逆に言えば、そのような批判的思考をともなわない形式的な研修だけでは、震災遭遇時には想定をもとに対応できるはずの場合であつても、対応困難な

「想定外だ」「未曾有だ」となつてしまいかねない。それでも震災直後ならばイメージの共有がされているので、研修の効果は高い。しかし、根本の原理が軽視されていた教訓が忘れられてしまつていては、研修は徐々に形式的なものへと戻つてしまい、想定外を想定する効力は薄れてきてしまうだろう。

地震に関する理科教育に引きつけて根本的な検証課題を考えれば、激しい地震の揺れとマグニチュードを原理的に結びつける理解の重要性が浮かび上がってくる。2分半の激しい揺れは、石巻市ハザードマップが想定するマグニチュード8を上回る可能性を示していた。2010年2月28日、2011年3月9日以上の津波の危険性、すなわち想定をもとに「想定外」を理解できるための、しかも高い普遍性をもつた知見なのである。ただし、2分半の激しい揺れを実際に経験する機会は限られている。5分、10分でも早く避難を開始してさえいれば、逃げ道の選択肢は増え、悲劇回避ができたに違いない。地震の理解が、迅速な行動をうながすための鍵となるのである。

児童の直観の意味を受けとめ教員間でベストの選択を議論して決めていたら、教員集団が決断するまで提案・進言を繰り返す教員があと一人でもいたら、間一髪避難が間に合つた可能性がある。すなわち、ほかの学校でも大川小のような悲劇の可能性があったということでもある。だからこそ、大川小の事故原因について、ていねいにすべてを検証し、教訓を残す価値がある。

4. 震源モデルがわかれば、マグニチュードの本質の定性的・半定量的理解が可能

義務教育段階の中学校「理科」では、震度（その地点での揺れの大きさ）とマグニチュード（地震の規模、エネルギー）のちがい、P波とS波、初期微動継続時間の計算と作図による震源決定法（明治の大森公式の活用によって破壊の開始点である1点の震源直上の震央を求める）について学ぶ。

富山大学での授業時に筆者が調べても、震度とマグニチュードが違うことは知っている学生が多い。例えば、富山大学理学部・工学部1年生を中心とする教養授業「現代と教育」（2013年度後期）で、震度とマグニチュードの違いについて、それぞれを自由記述するアンケート調査によって、次の結果が得られている。

正答率は、震度について7割強、マグニチュードについて8割強、両方とも正解は54%であった。不正解となる回答では、地震と地震の揺れ（地震動）との区別ができるない場合が多い。不正

解となるのは、震源、すなわちマグニチュードと結びつく地震の実態を学習する機会が、ほとんどすべての学生に今までなかつたためだと考えられる。中学校の理科で、震央のある点が震源だと習い、そこから揺れをもたらす地震が始まるといった、きわめて抽象的な震源のイメージを抱いたままであれば、地震と地震動の区別が不明瞭なのもいたしかたないといえるだろう。

多数の学生が、震度=その場の揺れの大きさ、マグニチュード=地震の規模あるいはエネルギー、といった「正解」を書いたわけだが、どんな震源過程の地震においてマグニチュードが大きくなるのか具体的なイメージのないまま、丸暗記しているだけの場合が多いと考えられる。

受講生の中で多数を占める理学部・工学部の回答者と、少数の経済学部、人文学部の回答者とで正答率には差はみられない。中学生（東京都、2013）、高校生（中島、2004）の各段階でも、富山大学生の上の結果とほぼ同様に、よく理解できているとする生徒が多い（中学生と高校生の調査は、理解できているかどうか問うた主観的な調査であるが、ほかの理科の内容と比べ、理解度が低いという結果にはなっていない）。中学時代の理科、高校受験勉強での繰り返しの結果、震度=その場の揺れの大きさ、マグニチュード=地震の規模あるいはエネルギー、という記憶はよく成立していると考えられる。

中学校理科で学習する、P波、S波、大森公式の活用は、高校入試問題の定番の一つであり、各種の受験参考書でも繰り返し学習して定着を図るようになっている。それはなぜだろうか。震度とマグニチュードの違いがいわゆる「暗記物」であるのにたいし、大森公式を用いた震源や震央を決定する方法は、計算や作図を繰り返し知的努力によって身につける必要があるので、入試学力の測定にふさわしいからだと考えられる。

世界初の地震学会がお雇い外国人によって日本に誕生し、地震計を用いた地震波の測定が盛んに始められた（金、2007）。その後、日本人後継者世代が発見した震源決定法は、当時の最先端の成果であり、実用性も高い。これが、理科教育の定番となっているもう一つの理由だと考えられる。

明治の大発見だとは知らないまま習い始めたのだが、中学以来の理科教育を通して学んでいたので、冒頭で紹介したとおり、筆者もその知識・経験から、この揺れは初期微動なのか主要動なのかと注意を払えた。

ところが、現行の義務教育段階の定番通りの学習で震源の理解が「点」のままであると、大きな地震ほど震源近傍で地震動が激しい理由はなんとなくわかるものの、マグニチュードの大きさと地震動の継続時間との因果的相関という、実用価

値も高い地震の重要な性質がわからないままになる。そこで、この問題を解決するための学習内容を提案したい。

震源断層が大きいほど、震源の断層の形状は地表に沿って細長く広がる（地下深くは温度が高く割れない（板のようにバキッと割れずに粘土のようになめらかに変形する）ためでもある）。その結果、細長く広がった震源断層の「長さ」は、震源全体の規模と相関することになり、マグニチュードの大きさの目安ともなる。この特性は、内陸地震でよく表われるを考えられるが、海域の地下で生じるあるいは海域と内陸の地下にまたがって生じる沈み込み帯の巨大地震の理解にも役立つ。

断層面上の破壊は、破壊の開始点（中学校で習う古典的な「震源」）から断層面上（中学校では習えない地震の規模の違いをもたらす現代的な「震源」）を伝播していく。現在では、地震の本体とも言える破壊の伝播のようすや伝播速度が、地震直後に求められるようになっている。筆者が使っているスライドに沿って、説明してみよう（図4）。

例えば、阪神・淡路大震災をもたらしたマグニチュード7クラスの大地震であった1995年兵庫県南部地震では、明石海峡付近の地下から始まった破壊が、宝塚方面におよそ30kmと淡路島方面におよそ10km、あわせておよそ40km進行し、停止したという破壊の伝搬のようすが描かれている（片尾・安藤、1996）。10秒余りの間に明石海峡付近から宝塚方面におよそ30km進んだのだから、伝播速度はおよそ3km/秒の大変な高速だとわかる。それにともなって弾性波が発生する。その結果として、兵庫県南部地震の神戸市街の強震動域では直下からの激しい揺れは10秒余りであった。

マグニチュード8クラスの巨大地震であった1923年大正関東地震（関東大震災をもたらした）では、100km近い震源断層面上を、小田原付近から鎌倉、三浦半島、房総半島南部へと破壊が進行していった（鹿島都市防災研究会、1996）。その結果、直下からの激しい揺れは1分足らずで収まった（固着が強いアスペリティが複数あり、破壊の進行速度も実際には複雑に変動したと考えられるが、ごく単純に考えて、伝播速度3km/秒で100km進行したものと近似して理解できる）。

マグニチュード9クラスの超巨大地震である2011年東北地方太平洋沖地震では、断層の長さは450kmに達し、しかも同じところが繰り返し破壊するといった複雑な破壊の進行がモデル化されている（気象庁、2012；佐竹・堀、2012など）。超巨大地震の特徴として、マグニチュード9に相当するエネルギーを放出して割れ終わるまで2分半程度もかかっている。本州の東北地方

表1. 地震の大きさの概略

M	滑り量	断層の長さ	断層面積	例えば…
9	10m	500km	100,000km ²	東北地方くらい
8	3m	150km	10,000km ²	宮城県や岩手県くらい
7	1m	50km	1,000km ²	佐渡島くらい
6	30cm	15km	100km ²	猪苗代湖くらい
5	10cm	5km	10km ²	金華山くらい
4	3cm	1.5km	1km ²	皇居くらい
3	1cm	500m	0.1km ²	東京ドーム2個くらい
2	3mm	150m	10,000m ²	グラウンドくらい
1	1mm	50m	1,000m ²	体育館くらい

*すべての数値は倍～半分くらいのバラツキがあることに注意。

松澤暢氏(東北大大学 地震・噴火予知研究観測センター)
講演「2011年東北地方太平洋沖地震が与えた衝撃」
資料から

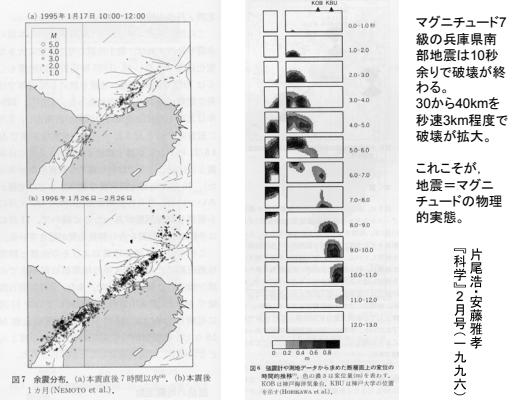
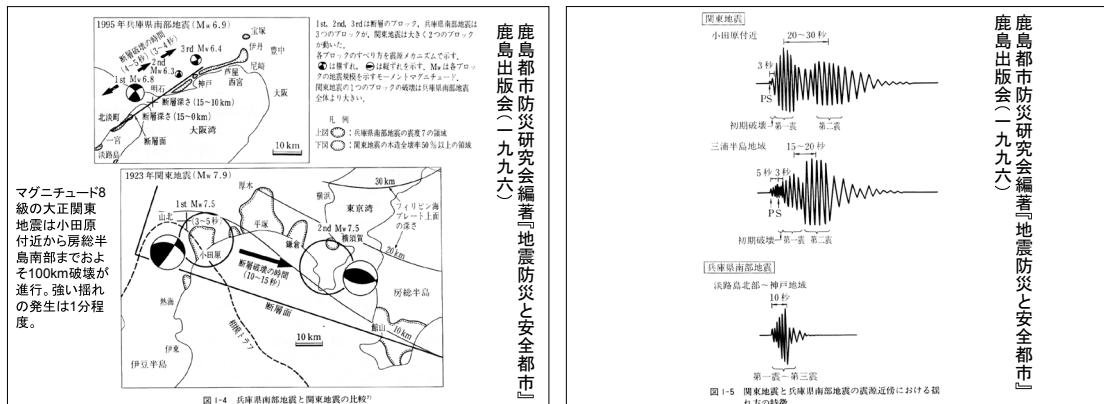


図1-2 余震分布。(a)本震直後7時間以内。(b)本震後1ヶ月(NEMOTO et al.)

マグニチュード7級の兵庫県南部地震は10秒余りで破壊が終わる。
30から40kmを秒速3km程度で破壊が拡大。

これこそが、地震=マグニチュードの物理的実態。

内閣府
科学技術政策局
防災・減災課
（一九九六）



マグニチュード8級の大正関東地震は小田原付近から房総半島南部までおよそ100kmを破壊が進行。強い揺れの発生は1分程度。

図1-4 兵庫県南部地震と関東地震の比較

鹿島都市防災研究会編著『地震防災と安全都市』
(一九九六)

鹿島都市防災研究会編著『地震防災と安全都市』
(一九九六)

鹿島都市防災研究会編著『地震防災と安全都市』
(一九九六)

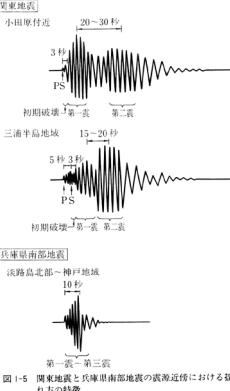
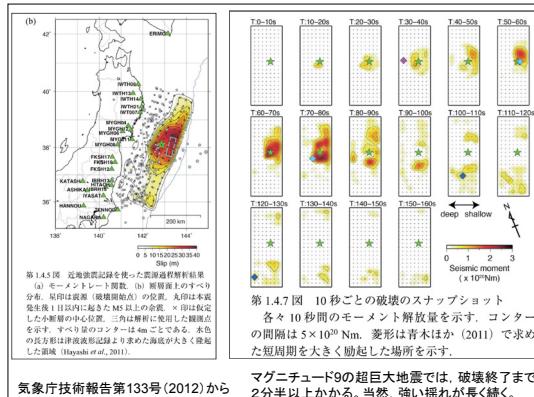


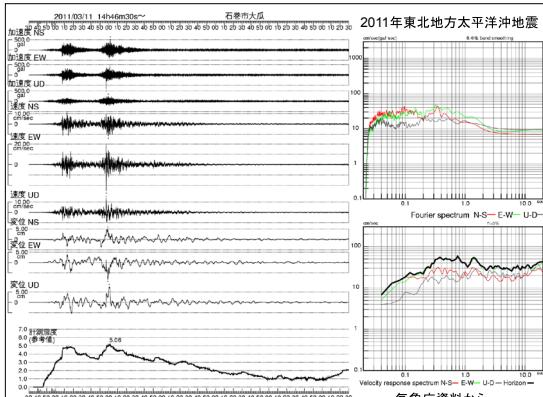
図1-5 関東地震と兵庫県南部地震の震源近傍における振れの特徴



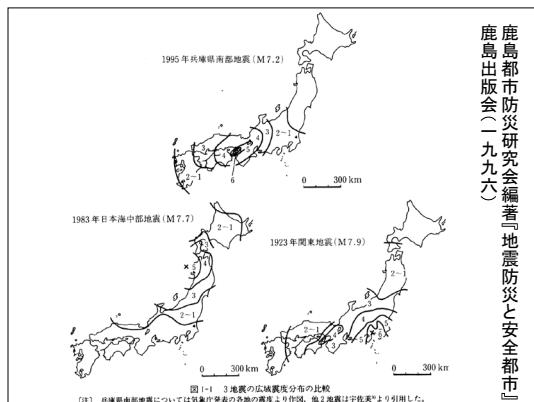
第1.4図 近地震記録を使った震源過程解釈結果
(a) モーメント放散数。(b) 震源過程のすきみ放散数。星印は震源過程の中心部を示す。X印は震源過程の端部を示す。△印は震源過程の初期に発生した震源点を示す。すべり量のコンターは4mごとである。木色の長方形は津波形記録より求めた海底が大きく隆起した領域(Hayashi et al., 2011)。

マグニチュード9の超巨大地震では、破壊終了まで2分以上かかる。当然、強い揺れが長く続く。

気象庁技術報告第133号(2012)から



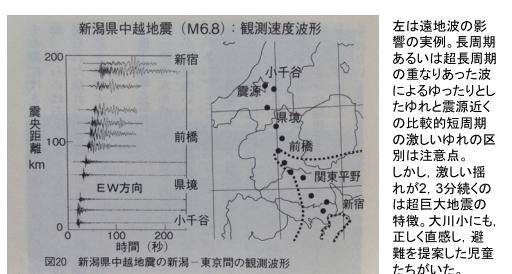
気象庁資料から



(注) 兵庫県南部地震については気象庁発表の各地の震度より作図。他の2震は宇佐美より引用した。

鹿島都市防災研究会編著『地震防災と安全都市』
(一九九六)

遅れて届く遠地波、表面波はあるものの、震源近傍では震度6前後の激しいゆれ継続



武村雅之:地震と防災—“揺れ”的解明から耐震設計まで。中公新書(2008)

左は遠地波の影響の実例。長周期あるいは超長周期の重なりがあった波によるゆっくりとしたゆれと震源近くの比較的短周期の激しいゆれの区別は注意点。
しかし、激しい揺れが2、3分続くのは超巨大地震の特徴。大川小にも、正しく直感し、避難を提案した児童たちがいた。

図4 震源における破壊の伝搬、断層の広がり(長さ)によるマグニチュードの違いと強震動が続く時間の違いを説明するために筆者が用いているスライド
震源とマグニチュード、揺れの関係が半定量的に結びつく学習が実現できる。

沿岸までは震源からやや離れていたとはいえ、各

地で激しい揺れが150秒以上継続している。冒頭

で紹介したとおり、宮城県名取市防災安全課防災担当係長も想定宮城県沖地震とは違う地震ではないかと気づいていた（東日本大震災第三者検証委員会, 2014）（富山市にある四季防災館では震動台で、この3例に加え、1964年新潟地震などの地震動を体験できる。体験を取り入れた地震学習の場として活用できるが、東北地方太平洋沖地震は長すぎるためか途中の90秒で終わっている点には少し注意が必要だ）。

このようにマグニチュード7, 8, 9クラスの典型的な地震を比べることで、半定量的にマグニチュードの大きさと激しい揺れの継続時間との因果関係が理解できる。この因果関係を逆にたどれば、震源近傍の震度5, 6以上になるような激しい揺れの継続時間から、震源断層の広がり、長さ、マグニチュードの大きさがおよそ推定可能になる。

兵庫県南部地震以降、観測結果に基づいて研究者が発表するようになった断層モデル、破壊伝播過程のスナップショットと強震記録を比べることで、マグニチュード7級（兵庫県南部地震、新潟地震など）、同8級（大正関東地震など）、同9級（東北地方太平洋沖地震など）の違いが明瞭になる。

理科教材としても有用な、学問的な成果の画像化、映像化された蓄積があるのだが、惜しいことに震源断層についての学習機会は限られている。中学校では、教師が格別に意識して授業で取り上げない限り学ぶ機会はない。検定教科書や高校入試問題にも出てこない。その結果は、震度とマグニチュードの違いを中学で学習し、受験勉強で定着させてきた富山大学学生たちに問うてみても、よくわかる。震度とマグニチュードの違いの正解者は多いのだが、一部の自習者や高校地学や大学教養で学習した学生以外は、マグニチュードの本質である震源の規模の正体については、理解が及んでいないために説明できない。

現行の中学校理科授業に1時間プラスするだけで、マグニチュードと地震の本体、それによる地震動の激しさ、長さが結びついて腑に落ちるようにできるだろう。追加される学習内容は、明治の大森公式と同様かそれ以上の実用性があると言える。たとえば、具体的な活断層で生じる地震を基準にした地域防災計画の意味や、原子力発電所の近傍の活断層の長さが電力会社と地震学者などの間で論争になっている理由にも気づくようになるだろう。

5. 疑問をもたせない（受験で正解ならばOKの） 学校教育から「疑問をもつのを励ます」学校教育へ

深い理解のためには本質的な疑問を持てるのが大事だというのが能動的学習モデル（学習者の

内発的な探究心が授業者によって喚起され効果的な学習が実現する）の教えるところだ。学習内容を提示する前に、動機付けを高める疑問の提示、矛盾やジレンマに直面することで生じる認知的葛藤に及ぶ場面づくりが授業者の腕の見せどころだと言える（例えば、澤柿・松本（2003）、林ほか（2008）、Redish（2012）にあるとおり、小学校から大学までに共通する理科教育の基本的な原理の一つかと言ってよい）。

1990年代後半から、各種答申、学習指導要領などの文書、行政施策において、文部科学省は、「生きる力」を育むためにも、新しい学力観、（1）基礎・基本、（2）その活用（例えば、思考力、判断力、表現力など）、（3）主体性、の三本柱が重要だとしている。しかし、それは効果的に実現されているだろうか。

震源が「点」であると理科第2分野で学習する一方、数学では点とは広がりのない大きさ無限小の抽象的な存在であると教わる。これらの知識が、理科第1分野で習う質量保存則やエネルギー保存則と結びついて活用されれば、震源が点であるのに地震の規模やマグニチュードが違うのはおかしい、不思議だ、どうしてだ、と疑問が生まれてきておおかしくない（おや？あれ？なぜ？という連鎖）。なぜなら、大きさがないのならば、規模やエネルギーに違いがあるてはならないはずだという理論的考察が、1点の震源でマグニチュードが変わるという学習内容と矛盾しているからだ。

疑問の発見、認知的葛藤が動機付けを高め、知的主体性と結びつき深い理解を達成するという能動的学習モデルからみても、理科教師にとって、マグニチュードの学習は大事な場面設定の好機だと言える。

ところが、実際はこの場面が、理科教育のなかで有効に使われているとは言いがたい。むしろ、深い理解につながる疑問をもつことを励まされず、浅い理解が強制されているとさえ言える。上のような生徒たちの疑問が積極的に喚起されず、励まされないどころか、受験突破という目前に迫る短期的目標に向けて動機づけられた繰り返し学習にさらされている。「震度＝その場の揺れの大きさ」、「マグニチュード＝地震の規模」と暗記してさえおけば、合格だと繰り返し意味付けられる学習が実現してしまっていると言えるのである。

東京大学物理学科を卒業し地球物理学に進んだ金森博雄は、若き頃、最大振幅の対数をとる気象庁マグニチュードでは地震の多様性の情報が失われる事実に気づき、疑問をもち、研究を進め、モーメントマグニチュードを定式化するに至った（金森、2013）。

きっかけは、坪井忠二（1902～1982）による岩

波新書を読んだときだったという。「しかし私は、地震の震源で起こっていることを「マグニチュード」という極端に単純化した数字だけで扱うスタイルにはあまり魅力を感じられませんでした」（金森, 2013）と、金森氏は疑問を出発点に研究者の道を歩み始めたのである。

坪井忠二是、岩波新書の新編『新・地震の話』（1967年5月20日初刷）でも、明治の濃尾地震、その後、カリフォルニアなどで研究の蓄積があつた断層モデルを否定し、地震球体モデルに立ち続けている。断層モデルを紹介しつつ、それを否定する専門的な論争の記述が興味深い同新書は、1982年10月10日最終16刷が計3000部印刷され、最初に1800部が、翌1983年9月21日に残りの1200部が製本になり、おそらくその後1年程度で品切れになったという（岩波書店、私信）。

このような旧来の地震の理解は、理科教師の間でさえも更新されずに残っている。近年、断層モデルが一部の高校地学教科書に採り入れられているものの、高校地学の履修者が激減し、それを自ら履修したり、教えたりすることで理解している理科教師も少ない。しかし、震源モデルからモーメントマグニチュードにつなげる追加分の学習は、動機付けを高め、従来までの内容の理解も深める効果を持つので有効だと考えられる。

巨大地震の際に揺れの継続時間が長い特性を採り入れた実践は既にある。授業ではチョークを万力でギリギリと締めつけて割る実験を演示し、「地中で起る地震の正体」を説明。そこに「強烈な揺れが15秒続いたらマグニチュード7の首都直下地震が来たと思って」、「沿岸でそれが1分続いたらマグニチュード8。高台へ逃げて」と、具体的な数値をあげて、マグニチュードを自分ではかる目安を示している。「私と会った人は、一人も地震で死なせない」という強い思いに裏打ちされ、防災教育で全国を回る地震学者・大木聖子氏の実践は、著書（大木, 2014など）やテレビ番組などでも広く紹介されている。もちろん、この思いに、筆者も同感だ。科学リテラシーや批判的思考力を支え、その抑制から免れるためにも必要な明確な目的意識が伝わってくるからだ。

6. 市民性教育としての地学教育の意義再確認

明治の地震学者今村明恒の震災論を検討した藤井（1966）も指摘するとおり、寺田寅彦の警句のとおり「天災は忘れた頃にやってくる」のは、大地震や大津波が低頻度であるからではない。自然史的な知識をもち探究しさえすれば、近代化された東京では井戸の代わりに耐震性の低い水道管を増やすなど、安政江戸地震のときよりも危険性が高まっているのはわかっていた。しかし、関東大震災を「前代未聞」の災害として、災害の根本原因である文明のあり方から目をそらし、自らの過ちを忘れてしまおうとする知識人たちに、寺

田寅彦は警句を発していたのだ。

自然災害には人災的側面が必ずともなう。大川小検証委員会報告では、市民に示されていたハザードマップのうち大川小学校付近だけが抜き出され、津波浸水予想域の外にあった点が強調されている。筆者によるパブリックコメント、検証委員会後の記者会見での繰り返しの指摘後も修正はされず、3.5kmも沖積平野を浸水させる予測は隠された形のまま最終報告書に至っている。これでは、自然のありようを明らかにする自然科学の営みが役に立たない。

寺田寅彦が示したとおり、文明のあり方、弱点を照らし出す自然史科学、地球惑星科学、地学教育には、そのときどきの近視眼では見落としがちな長期の視野から事実を照らし出す大きな役割がある。政治や文明を改めていく有権者、市民を育てる教育にとって、地学教育は役に立てられるはずだ。自然史科学が役に立たないとしたら、その原因は科学と社会の両方にあると言えよう。

しかし、このような考え方は、それを身につけていた人間でもときに抑制されてしまい、科学リテラシーとして發揮されないという問題もある。批判的精神を活用するメタ認知によって自ら意識付けしようと心がけないと、入試問題では解答できたとしても、現実場面ではしばしば抑制されてしまうのだ（林, 2013）。このような抑制の働きにも批判的思考力によって、注意を払いながら、地学教育の意義を市民性教育の中で高めていきたい（批判的思考力、その抑制の問題については、楠見ほか（2011）が参考になる）*。

亡くなった教師たちは誠実に日々の授業に努めていたという。真っ黒な大津波を目にしたときに、子どもたちを守る決断の遅れを後悔したに違いない。そんな教師たちや、避難を提案した児童

* 大川小事故検証委員会は、大津波の予見可能性についていっさい否定する報告書（大川小事故検証委員会, 2014）を提出した。パブリックコメントでありのままハザードマップを掲載するよう意見があったにもかかわらず、本稿図3に示したとおり、マグニチュード8の想定でも河口から3.5kmも津波が沖積平野を週上するという公式ハザードマップの全体像を報告書に盛り込むことはしなかった。文部科学省・宮城県教育委員会自らが公正・中立を定めるとして検証委員会を指導・監視する形式をとっているために、筆者の取材では遺族による裁判への懸念を委員会筋が語らざるを得ない（林, 2014d）など、行政側が不利になる津波の予見可能性があった証拠を報告書に盛り込まない配慮（科学リテラシーの抑制）を検証委員会の防災研究者たちは選択したようにみえてしまう。経緯など詳細は、林（2014a-d）を参照されたい。

らの思いを胸に刻みながら、根本、原理、批判的思考力の大切さを忘れないために、よりよい理科教育を構築したい。

これは、彼らを守れなかった残された者、特に地球惑星科学の研究や教育に携わる者にできる広い意味での一つの償いでもある。

参考文献

- 藤井陽一郎, 1966, 地震学者今村明恒の震災論, 科学史研究, 10月号, 161-170.
- 林衛・長谷部真誠・谷川寛和・相川恵子・下山真理香・市瀬和義, 2008, 人間の認識をどう育むか: 人間発達科学部「ゼミナール」での玉田泰太郎小学校理科実践の分析から, 教育実践研究: 富山大学人間発達科学研究実践総合センター紀要, 3号, 149-168.
- 林衛, 2013, 東日本大震災・原発震災で明らかになった科学リテラシーの弱点-まずは「科学者の科学離れ」克服から, 富山大学人間発達科学部紀要, 7巻2号, 119-131.
- 林衛, 2014a, 大川小事故検証委員会はなぜ混迷を続けるのか1と2, 市民研通信。(電子版は市民科学研究室サイトで公開, <http://archives.shiminkagaku.org/archives/2014/02/2-11.html>, 2014年12月4日最終閲覧).
- 林衛, 2014b, 大川小学校遭難事故をなぜ防げなかったのか—理科教育と地球惑星科学の責任・役割, 日本地球惑星科学連合大会(パシフィコ横浜) .
- 林衛, 2014c, 大川小学校事故検証に残された課題—事実に向き合い・語り継ぐ重要性, 日本災害情報学会・日本災害復興学会合同大会(長岡) .
- 林衛, 2014d, 大川小事故検証委員会はどこで道をまちがえたのか—科学の誤用による人権侵害, 科学技術社会論学会(大阪大学) .
- 東日本大震災第三者検証委員会(名取市), 2014, 東日本大震災第三者検証委員会報告書-宮城県名取市閑上地区の検証.
- 池上正樹・加藤順子, 2012,あのとき、大川小学校で何が起きたのか, 青志社.
- 池上正樹・加藤順子, 2014, 石巻市立大川小学校「事故検証委員会」を検証する, ポプラ社.
- 金森博雄, 2013, 巨大地震の科学と防災, 朝日選書.
- 鹿島都市防災研究会編著, 1996, 地震防災と安全都市, 鹿島出版会.
- 片尾浩・安藤雅孝, 1996, 兵庫県南部地震前後の地殻活動, 科学, 2月号, VOL.66 NO.2, 78-85 (図6でHorikawaらの結果を引用紹介).
- 金凡性, 2007, 明治・大正の日本の地震学-「ロカル・サイエンス」を超えて, 東京大学出版会.
- 気象庁, 2012, 技術報告第133号.
- 楠見孝・子安増生・道田泰司編, 2011, 批判的思考力を育む—学士力と社会人基礎力の基盤形成, 有斐閣.
- 中島健, 2004, 県内高校生の地震に関する意識調査, 滋賀科学第47号.
- 大川小事故検証委員会, 2014, 大川小事故検証委員会報告書.
- 大木聖子, 2014, 家族で学ぶ地震防災はじめの一歩, 東京堂出版.
- Redish, E.F., 2012, 科学をどう教えるか—アメリカにおける新しい物理教育の実践, 日本物理教育学会監訳, 丸善出版.
- 佐竹健治・堀宗朗編, 2012, 東日本大震災の科学, 東京大学出版会.
- 澤柿教誠・松本謙一, 2003, 親子で楽しむ自由研究おや?あれ?なぜ?の科学41, 北日本新聞社.
- 島村英紀, 2013, 人はなぜ御用学者になるのか—地震と原発, 花伝社.
- 東京都, 2013, 学力調査結果, 162-16, <http://www.metro.tokyo.jp/INET/CHOUSA/2013/11/DATA/60nbs409.pdf>.
- 坪井忠二, 1967, 新・地震の話, 岩波新書.
- 横山裕道, 2012, 3.11学—地震と原発そして温暖化, 古今書院.
- (著者の文献については, 富山大学学術情報リポジトリ (<http://utomir.lib.u-toyama.ac.jp/dspace/>, 2014年12月4日最終閲覧) からも入手可能である。)

【編集委員会追記】

本論の大川小検証委員会に関する脚注に関して、著者は独自の取材に基づく内容を記載することを要望しましたが、編集委員会では該当部分を非公式な発言に基づくものと判断しましたので、本モノグラフでは匿名表記(委員会筋)とするなどの修正を行った上で掲載することと致しました。その他、編集過程において編集委員会で一部の記述を修正しています。

日本地震学会モノグラフ

Monograph of the Seismological Society of Japan No. 4

2015年7月 第4号

学校・社会教育による地震知識の普及

－教育を通じた地震災害軽減の現状と課題－

－地震の研究者と小・中・高等学校教員との連携－

(モノグラフ「学校・社会教育による地震知識の普及」編集委員会)

日本地震学会ホームページ

<http://www.zisin.jp/modules/>

からダウンロードできます（無料）。

http://www.zisin.jp/modules/pico/index.php?cat_id=5

30編を越える論文掲載