

岡本 義雄 (大阪教育大学非常勤講師)
Yoshio Okamoto (Osaka-Kyoiku University parttime lecturer)

Abstract
In general, disaster-prevention education focuses on how to escape or minimize disasters related to earthquakes or volcanic eruptions. However, we treat it as an example of science education at the high-school to college level, in which we can learn how scientists investigate nature and how to analyze the data. For this purpose, in the former half of lectures, we focus on "the power-law behavior of earthquakes". This characteristic is called Gutenberg-Richter's law (G-R law) in seismology. There are few attempts in the secondary schools and college levels using such concepts applying in science education. We first introduce the G-R law with a fascinating board game, "Go-game model," and then cover other computer and analog models reproducing earthquake behavior. Simultaneously, the social events or statistics obeying the power laws such as Zipf's law are introduced, employing various epoch-making examples to motivate students majoring in social sciences, sports, or cultures as the main members of my lecture. After that, we argue the possibility and reliability of "earthquake prediction," in which most students have strong interests.

Keyword: natural disaster, earthquakes, G-R law, power law, earthquake prediction

岡本 義雄 (大阪教育大学非常勤講師)

1. はじめに

筆者は2011年東北地方太平洋沖地震の翌年の2012年度から、大阪教育大学の一般教養科目として「地球と災害」というタイトルの講座を始めた。自然災害の中で、地震と火山を中心に、災害のメカニズムや統計則を中心にした講義内容である。基本コンセプトとして、「べき乗則(べき乗則)」を軸に据えた。これはそれまでの高校地学の授業においても、行ってきた試行を基にしている。さらに近年、訪問教員として訪れた、タイ王国の先進的科学高校

(KVIS, Kamnoetvidya Science Academy)などでの授業や教員研修の試みも加味している。

その原点となったのは、高校教員の定年を1年後に控えた2011年3月11日の午後、勤務校の地学部長K君と一緒に、呆然としてTVで見入った、仙台平野を襲う津波のリアルタイム空撮画像であった。自分の高校教員としてのキャリアの最終段階で、このような経験が待ち受けるとは、予想だにできなかった。

すぐにこの「想定外」の根拠は、一体どこから来るのか?と問う一連の研究を思いついた。翌年、大学の特任教員としてキャリアが始まった、その年に申請した「想定外」をタイトルに冠した科研費が幸運にも採用され、「災害のべき乗則」を中心に置く講義の内容構築が、急速に固まっていった。以来、大学教養および専門課程で、講義をちょうど10年間担当し、内容も深化した。今回教員キャリアの最終段階を迎えて、この試みを文章にまとめることにした。

2. 講義の目的

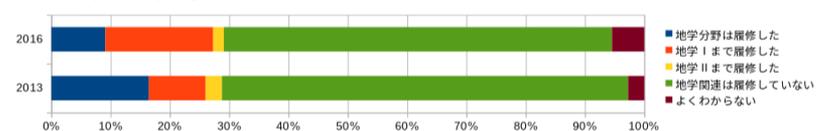
災害教育という、本来、いかに災害から逃れるか、いかに被害を最小限に食い留めるかという Know-How 的な視点から議論されることが多い。しかし、ここでは災害の科学的側面に光を当て、メカニズムから理解することに重点を置く。上記防災の Know-How 的な部分には言及しない。学生に自然科学として災害科学を学んでほしいという筆者の思いをにじませている。また半分を越える理系以外の学生への便宜もはかることにした。この講義の前半では、とくに地震という自然現象にまつわる、波形データの扱い、統計則、そしてその解釈などを中心に実習と講義を展開した。火山やその他の災害は別途、Part2. に記述する。

3. 現状把握

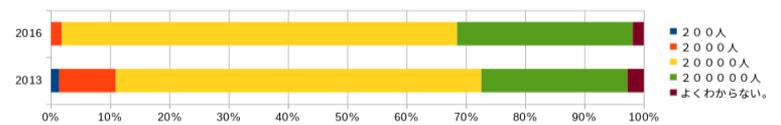
講義の前提として、どのような知識を持つ学生が受講しているかを知るために、毎年、初講時に授業アンケートを実施している(付録Aの付図2に質問文と選択肢を添付した)。詳細な結果が残る2013および2016年度の回答数のうち、地震の基礎知識に相当するものをFig.1のグラフに示す。1)から6)は選択から選ぶ問い。7)以降は自由記述(本稿では省略)。この2013年度のサンプル数は73, 2016年度は55である(カッコ内は正解および正解者、地学履修者の割合を2013年度, 2016年度の順に示す)。

- 1) 地学関連授業を高校で受講したか (受講した, 28, 29%)
- 2) 2011年東北太平洋沖地震について、災害の死者・行方不明者数はいくらか (約20000人, 64, 67%),
- 3) 津波の最大波高はどれか (10~20m, 34, 52%)
- 4) P波, S波の定義の正確な把握について (縦波, 横波は地面の揺れを示す言葉でない, 43%),
- 5) 津波の生じた原因はどれか (海底面の断層, 51, 44%)
- 6) 地震予知についての見解 (短期的な実用的地震予知は現時点で不可能, 17%)

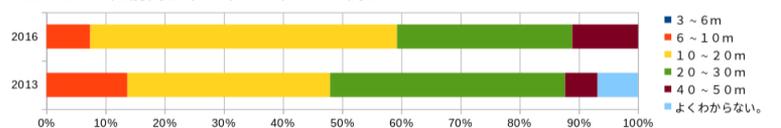
あなたは高校で地学を履修しましたか



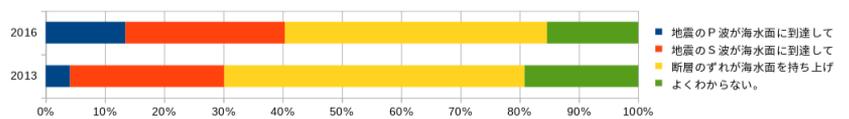
2011年の地震と津波の死者、行方不明者数は



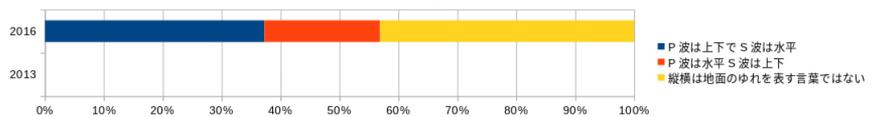
地震のときの陸前高田市の津波の平均の波高は



津波が発生したメカニズムは



P波とS波について正しいのは(2013年度はデータ欠落)



将来的に地震予知の学問はどうかと思うか

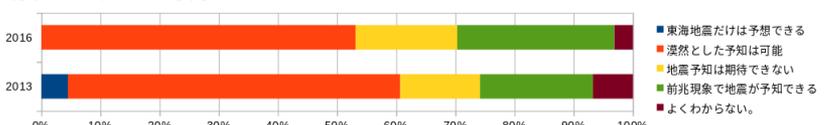


Fig.1 Questionnaire results. Yellow colors are correct answer.

このアンケートから、学生は地震への一般的な知識は持っている（省略したMと震度の違いを聞く問いなど）が、さらに踏み込んで、津波の原因や、地震の災害をもたらす地震波の性質など、防災に必要な知識の欠如が半数の学生に観られる。さらに専門家はほぼ否定的な、地震の予知についても淡い希望を持った学生が多いことがわかった。なおこの2016年度の履修者の学生の中で、いわゆる理系の学生は24名/74名=32%である。このような前提を理解した上で、講義内容の修正、追加を毎年行っている。

4. 講義の概要

本講義の前半は、地震現象の把握と「べき乗則」という概念がその基本となる。まず地震を記録された地震波形、さらには筆者自作の地震計を中心に、どのように自然現象が記録され、さらにデータの解析として扱われるのかを実習を中心に紹介する。付録Cに本講義のシラバスを示す。さらに教員を目指す学生が多いことも考慮して、不定期で「現代の教育」に関連するトピックを議論している。ただこの議論については、本稿の続稿の中で議論することにする。

4-1 本講義の項目の配置

2020年度の前半の各講義の内容を簡略化して示す（付録に示したシラバスとは若干前後している）。このうち本稿では特に「べき乗則」に関連した部分を詳述し、他は紙面の関係で省略し、[個人Webサイト](#)に情報を掲載する。

- 1) 講義の概要と導入（次章参照）
- 2) 地震波形実習（岡本ほか，2017）で震央決定， M （マグニチュード）計算
- 3) 震度， M （マグニチュード）について
- 4) Gutenberg-Richter 則について（後述）
- 5) 「複雑系」について（フラクタル，カオス，自己組織化臨界現象）。
- 6) 地震のメカニズムと断層
- 7) 地震波動と津波，震災被害
- 8) 地震計のしくみ，地震予知について

4-2. 本講義の導入部

科目の導入にあたって、最初に2つの動画を見せる。

- 1) 1本目は1991年6月3日に発生した雲仙普賢岳の火砕流（43名が死亡）が上木場地区を襲う記録ビデオ（National Geographic, 2003）。図2にその一場面を示す。
- 2) 2本目が、Melbourne Museum 製作のYouTube動画「A Day in Pompeii」（Melbourne Museum, 2010）の2本。

2つの動画の根本的、本質的なちがいは？



Fig.2 Two movies at the first lecture (Mt.Unzen and Mt.Pompeii)

この2本の動画をこの順で見せて（2本目は要所のみ）、2本の動画の本質的な違いは何かという問いを發する。ほしい答えは、最初のもが「実際に起こった自然現象」の記録、2本めが「計算機が作成した仮想の再現シミュレーション（いわゆるCG）」というものであるが、学生からはなかなか欲しい答えが帰ってこない。よくあるのは現象面だけをとらえて、「最初のは火砕流だが、2本めのもは火砕流ではない」などの答えが典型的。これは高校生相手や、タイの科学高校の教員研修においても、よく似た反応であり汎用性がある。ここからまず、「事実に基づく科学的なものの見方とは何か？」ということを考えさせている。

次に、事象のランダムな配置を選択する問いかけを行う（岡本，1997aのAppendix）。4つのうち1つだけが、ランダムな事象配置を示し、あとの3つはそれぞれ配置に仕掛けがある。各図の挙手の数字を黒板に板書し、答え合わせも行う。正解の図を選ぶ学生は半分から1/3程度である。これはもともと筆者が地震予知の問題を提起したときに考えたもので、高校生にも長年にわたり統計を取ってきた（岡本，2001）。学生に周期的なものとランダム性との区別がつかない場合が多いことは特に注意を要する。これはあとの方の講義で話題とする地震の予知の問題と深くリンクすることを学生に伝える。

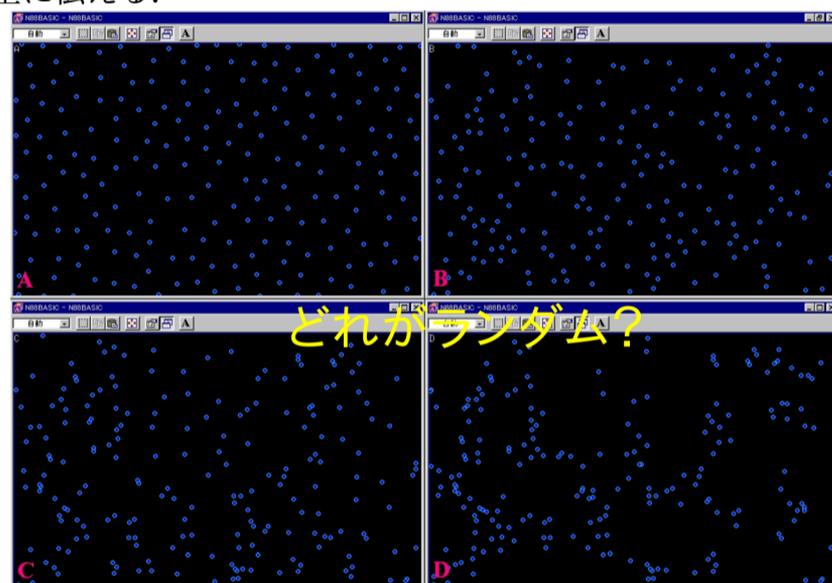


Fig.3 Randomness and periodicity. Quiz: which is random?

次に本稿の主目的である「べき乗則」に移る。

4-3. 「G-R 則」とは

小さな地震は数多く起こるが、大きな地震はめったに生じない。この経験的關係は、地震学では「Gutenberg-Richter 則」（Gutenberg & Richter, 1941, 以下G-R 則と略す）と呼ばれる経験的統計則である。このG-R 則と大森房吉により発見された「余震の減衰に関する大森の法則」（例えばUtsuほか，1995）くらいが、地震の教科書に載る誰もが納得する経験的統計則となる（例えば波多野，2016）。いずれの法則もパラメータは異なるが、「べき乗則」（後述）に従う。このうち本論では、特に「G-R 則」を最初に取り上げる。

次の図は気象庁が1991年から2010年の間に M を決定した日本列島付近における地震について、 M 5以上のものを選び、 M と個数の關係をプロットしたものである。 M は現在では地震を生じさせた断層面積や、地震モーメントなどの対数を取ったものとしても定義されており（たとえば宇津，1984），地震の大きさを対数で表していると考えてよい。ここで本論では地震の大きさという言葉で、地表の地震動では

なく、発生した地下の地震そのものの大きさ（震源断層の大きさと等価）で示すことに注意。つまりG-R則は地震の大きさ（サイズ）と規模別の発生個数（頻度）の間に両対数グラフで直線の関係があることを示している。

この関係は、現在では「べき乗則」（Power laws）と呼ばれる、自然界や社会現象でよく発現する関係の発見の端緒と考えられる（例えば、Mandelbrot, 1990）。また、もし大きさと頻度について、通常軸で表示すると、反比例関係のグラフになることも、簡単な数式で学生に示す。文系の学生にとって、対数はやや難しい概念なので、対数の諸性質の説明も高校の授業のように簡単に示すことも行う。

講義では、実習として理科年表2000のデータ（上記データより期間が10年短い）を与えて、まずこのG-R則のグラフの作図（Fig.4）を学生に行わせる（詳しくは岡本, 1997a）。学生は次第に直線にプロットが載ってくる過程を、興味をもって実感することができる。

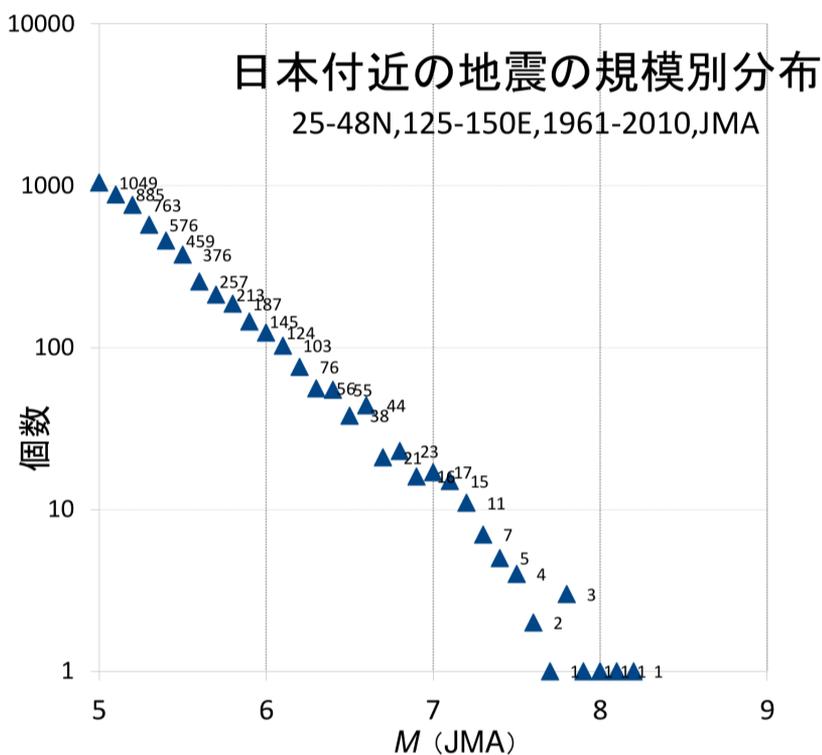


Fig.4 Size-distribution of earthquakes around Japan (50year, JMA catalogue, M5=<=), Labels show the numbers of each M.

大変興味深いのはこのG-R則が、時間と空間を選ばず、汎世界的にかつ歴史時代から現在まで、どこでもいつでも成り立っているという事実である。以下、時間軸を同じにして、地域を替えた作成したグラフをFig.5に示す。

いずれの地域でもグラフの傾きは約-1の直線となりほぼ一定である。唯一の例外はジャワ島のデータである。この原因を学生に考えさせる。答えはジャワ島の貧弱な地震観測網が、微小地震を取り逃がしている可能性で、この地域を除けば、大きな地震の起こる確率はMが1増すごとに約1/10に減ることが見て取れる。なぜこのような見事な経験則が空間、時間を越えて成り立つのかの解明には、多くの研究者が取り組んでいるが、未だに必要かつ十分な物理モデルが示されたわけではない（後述）。しかも、Fig.4のグラフをじっくり観ると、さらに大変重要な事実に気づく。この図はたかだか50年間の統計であるが、もし期間を10倍の500年に伸ばすとグラフはどうなるのか？筆者はいつも学生に問いかける。理解の早い学生なら、次のFig.6のようなグラフの変容を想像することができる。

1961-2011年 規模別の地震数 (JMA, ANSS data)

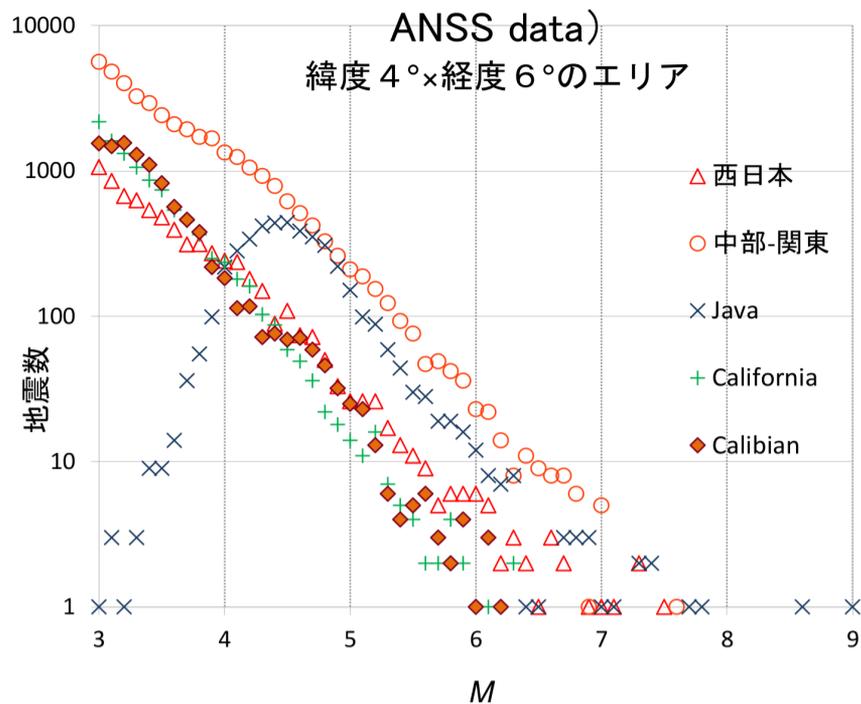


Fig.5 Histograms of earthquake sizes around Japan and World (Data are from JMA and ANSS: Advanced National Seismic System,USGS)

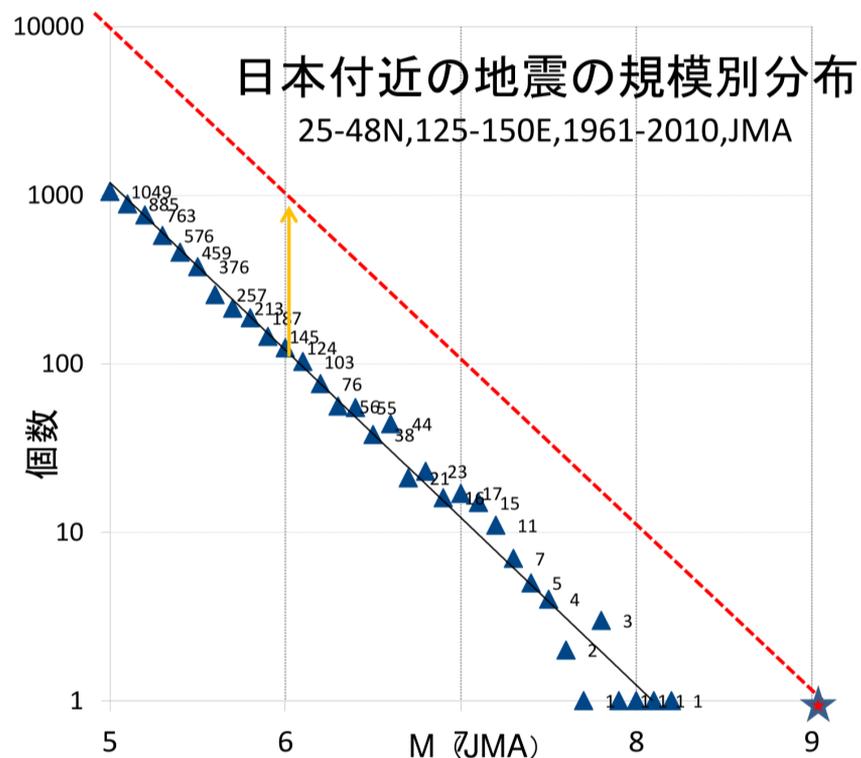


Fig.6. The period of statistics is extended 10 times (500 years!) from Fig.4. On the right bottom axis, A M 9 earthquake will be expected!

グラフはひと目盛り分、上に移動する。統計期間が10倍になれば当然地震の数が10倍になるからである。しかしこの移動したグラフの右下に着目してほしい。グラフはM9のあたりでx軸と交わる。これはどういうことか？と再度問いかける。つまりM9の地震が、日本列島付近で500年間の間に1個程度期待されるということを示している。ここからG-R則が日本列島付近で成り立つとすると、2011年東北地方太平洋沖地震は、この経験的統計則からはけっして”想定外”ではなかったという重要な結論が出てくる。

さらに、「G-R則」はどんな地震学の教科書にも載っている、つまり地震学を学んだ学生や研究者なら、誰でも簡単に推測できるはずである。しかしこのグラフを高校の地学の授業で毎年紹介していた筆者でさえ、その推測には残念ながら思い至らなかった。なぜなのか？

知らず知らずの間に、「日本列島にはM9以上の地震は生じない」と思考回路にリミッタを置いていた。筆者の場合、1973年に出版されたSF作家小松左京の「日本沈没」(上・下)を、出版当時最初に読んだときに、違和感を感じた。さすがに小松さん、話を盛っているなど。日本にM9とかM10なんて起こるはずがない、地球科学の常識外だと思っていた。このことについては東北の地震後に、地震学研究者自身の手によって議論が多くなされている。例えば、日本地震学会(2012)、あるいは地震調査委員会(2015)などにまとめられているので、ここでは繰り返さない。最先端の地震学理論(たとえば「アスペリティモデル(松澤,2009など)」)や過去のデータの恣意的解釈が、むしろ真実の解明にフタをしてしまったという議論が残されている。

このG-R則の紹介のあと、この法則の出处を探求する過程に入る。専門家によりその地震の統計的分布を説明しようとする様々な地震発生モデルが提出されている。それらの中で世界の先陣を切った研究として、「基石モデル」(大塚, 1971)を取り上げる。

4-4. 「教材化基石モデル」の実習

かつて熊本大学にいた大塚道男は、地震の発生モデルとして「基石モデル」(大塚, 1971)という計算機実験を開発した。筆者はこれを最初に教材化した知人(松崎光弘 1991, 私信)から学び、教材として実習しやすいように改良した(岡本, 1997a)。これを「教材化基石モデル」と呼ぶことにする。地震の発生と破壊の成長が、ランダムな確率過程にあると仮定した上で、サイコロ(六角鉛筆)を転がして、断層破壊(地震の大きさ)がどのように成長するかを観る。中高生から大学生まで楽しく学べる、格子モデル(セル・オートマトン)の1種となるゲームである。タイの高校生や日本の大学生の実習の様子を次に示す。

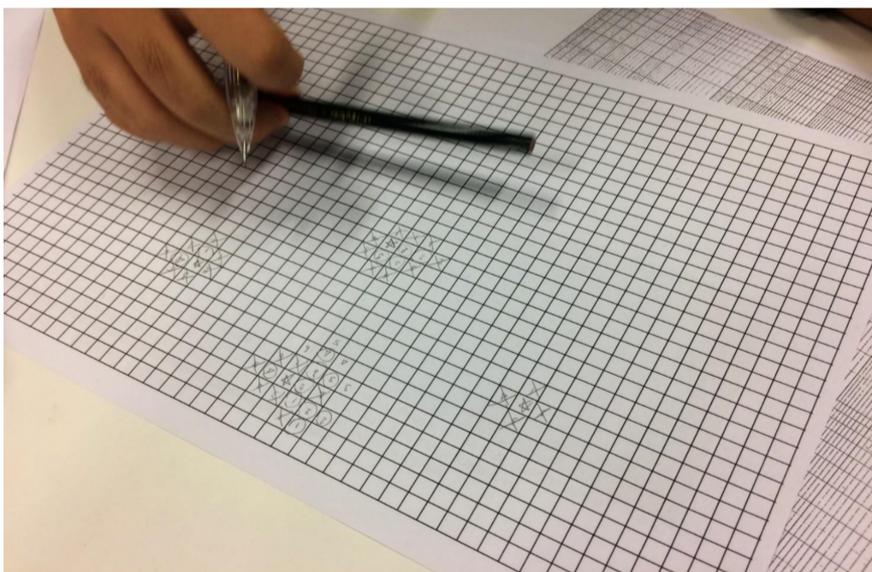


Fig.7 Classroom exercise of GO-geme model at KVIS (Kamnoetvidya Science Academy; a science oriented high-school in Thailand)

地震の大きさ(破壊した区画, サイズ)と地震の発生個数(上記黒板で集計した結果, Fig.8 参照)を、手元の両対数グラフに、プロットする。横軸の破壊し区画は、これを断層の面積と考えると、対数を取ることで地震のMに変換される。その結果G-R則に似た右下がりの直線に近い関係が得られる(図6)。つまり大きな地震は数が少なく、小さな地震が多く発生するという身近な経験を、ボードゲームの中で

追体験できる。ただ、直線性は元の大塚(1971)が指摘するように、G-R則のきれいな直線とは異なり、途中でやや折れ



Fig.8 Data acquisition of GO-game model exercise at Osaka-Kyoiku University.

曲がる。これについては、筆者のその後の計算機実験で、伝播確率をかなり上げるなど条件を絞ると、直線性がよくなることを確かめている(岡本, 2004)が、ここでは省略する。これらの実習ののちに、学生の感心が高い「地震予知」との関係に進む。

基石モデル実習(地球と災害)
○2012, △2017

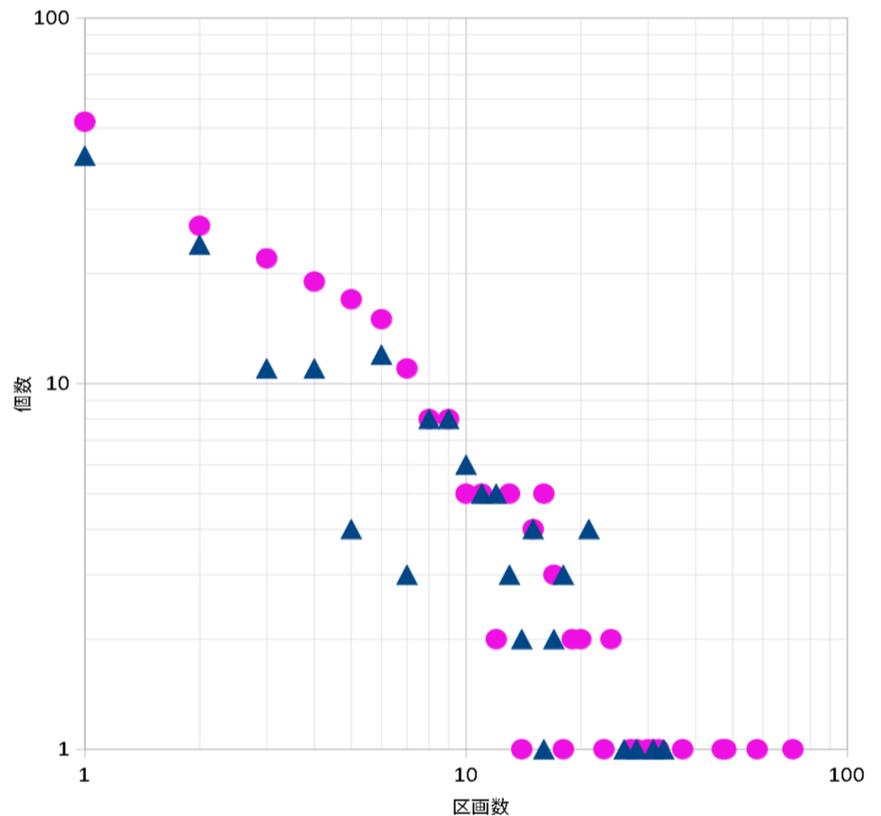


Fig.9 Frequency versus cluster size in the exercise by university students. A similar result of the G-R law is appeared.

4-5. 「地震予知」と「基石モデル」

学生に、この「基石モデル」と「地震予知」の関係を問いかける。すなわち、このモデルが正しいと、地震予知の可能性はどうなるのか? 答えは、このモデルが正しいと、「地震予知」は原理的に不可能となる。なぜなら、地震の大きさは、成長途中の確率過程が決定するもので、あらかじめ決められているものではない。どんな地震も起こってみないと、その大きさが確定できない。つまりある地域に発生するかも知れない大地震を、あらかじめ発生前に予測することは原理的に

不可能となる。これは学生にとっては、結構衝撃的な事実である。マスコミなどが流す、大地震の予測可能性の話とは真っ向から対立する。このあたりは、のちに議論することになる(後述)。続いて、この「G-R 則」をさらに掘り下げるために、別の視点から作られたモデルを紹介する。

4-6. 地震の G-R 則を再現する他のモデル

「基石モデル」以外に、地震の G-R 則を再現するモデルは数多くある。そのうち代表的なものは次の2つである。

- 1) 格子モデル(セル・オートマトン)で、砂山の形成を模した「砂山モデル」(Bak & Tang, 1989, Ito & Matsuzaki, 1990)
- 2) 震源における地震の発生(断層の急激なずれ)をバネとブロックの挙動で再現する「バネ-ブロックモデル」(Burridge & Knopoff, 1967 など)である。

前者は「砂山崩し」のシミュレーションで、これを実際の砂山を用いるのではなく、計算機実験として実行された。筆者はこれを基石モデルと同様の、ボードゲーム化した教材も試作(岡本, 1997b)した。しかし学生の評判は、実習時に目が回ると、いま一つであったので、ここではタイの高校の実習で用いた例を写真で紹介するのみとする(Fig.10)。大学講義でも一応、プリントを印刷したものを紹介しているに留めている。

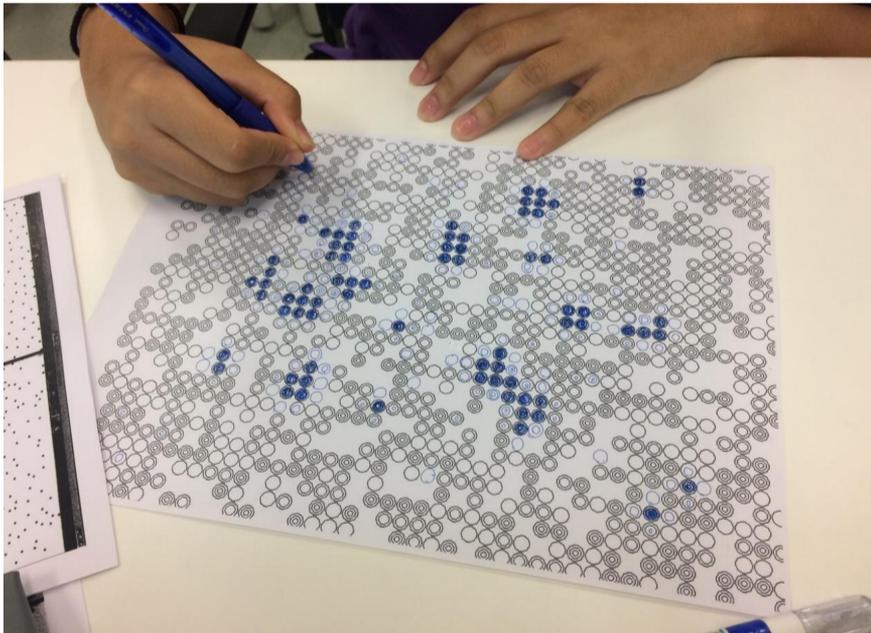


Fig.10 An exercise of Sand-Pile mode(Bak & Tang, et.al, 1989); Okamoto(1997b) developed a classroom exercise for the model; the blue markerw show the broken clusters. A similar pattern of the Go-game model are generated.

一方のバネ-ブロックモデルも、最初の計算機実験(Burridge & Knopoff, 1967)を模した教材用のアナログモデルが、加藤(2011)により開発された。筆者はこれを参考に、その発展モデルを開発(岡本, 2015 および、岡本, 2018 など)し、授業における地震発生モデルのデモンストレーションに使用している。次にこれを解説する。

4-7. バネ-ブロックモデルのアナログモデル

図 10,11 が実際に教室でのデモに用いているものである。

生花に用いる“剣山”(百均ショップで購入)を錘りとして、これに四方から輪ゴムをかけ、この錘りを幾つか、輪ゴムで連結したモデルを作る。剣山同士の接続と、取り囲む木の枠に、十字方向に輪ゴムは止められる。机上には摩擦を大きく

するための、肉厚のビニールシートを置く。そのうえで、しずかに木の枠を水平に一方向に動かすと、輪ゴムの力が加わった剣山とビニールシートの間働く摩擦力が、ときどき最大静止摩擦力を越えて、剣山が滑るのが観察できる。この滑りは周囲の剣山に伝染する場合とそうでない場合が生じる。これは「基石モデル」の破壊の伝播と本質的に同じことになる。

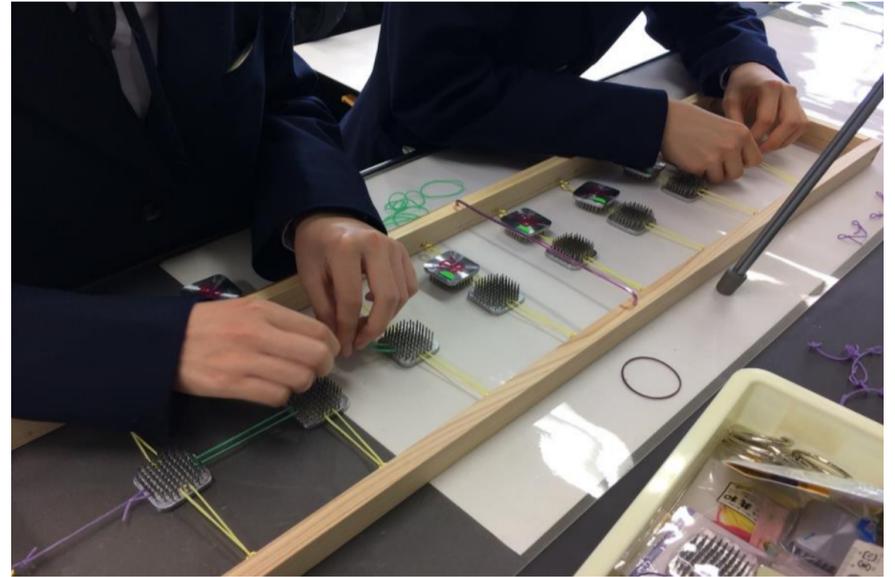


図 10. 南総里見八”剣山”モデルの組み立て。



図 11. 南総里見八”剣山”モデルの実演。生徒は同時に滑った剣山の数をカウントする(大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎地学部の協力による)。

この結果、ほぼ同時に動く剣山の数を数えると、それが発生した地震の大きさに相当し、規模別の地震の生じる頻度を両対数グラフにプロットすると、これも G-R 則に似た関係が観察できる(図 12)。筆者の講義では、デモ用のモデルを実際に動かすほか、高校生が8個のブロックでカウントしたデータ(図 12)を紹介している。このモデルの特徴は輪ゴムのバネの伸びから、次にどのブロックが滑りそうかは目視で推定が可能である。しかしそのブロックが滑ることで、他の隣接するブロックが滑るかどうかをあらかじめ知ることは大変難しい。現実には我々が住む地上では、地下のバネの伸びに相当する応力分布すら精密に観測することは、まず不可能である。このことから現実の地震の予測や予知が大変困難であることを理解させる。

上記で紹介したいずれのモデルも、あらかじめ発生する地震の大きさや地震の発生タイミングを知ることは極めて難しいことを示す。しかし統計的な G-R 則の特徴を見事に再現する。

2016 AKB 総選挙 得票数 VS 順位

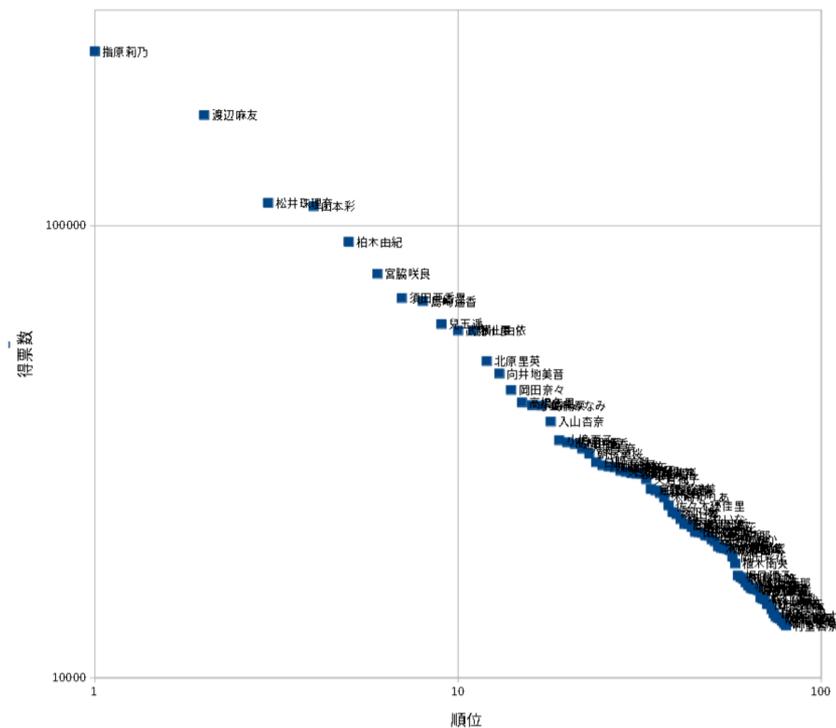


図 15.AKB48 総選挙得票数ランキング(2016 年). この年度の直線性がもっとも良いのでこの図を採用. データは http://www.akb48.co.jp/sousenkyo_45th/result.php より

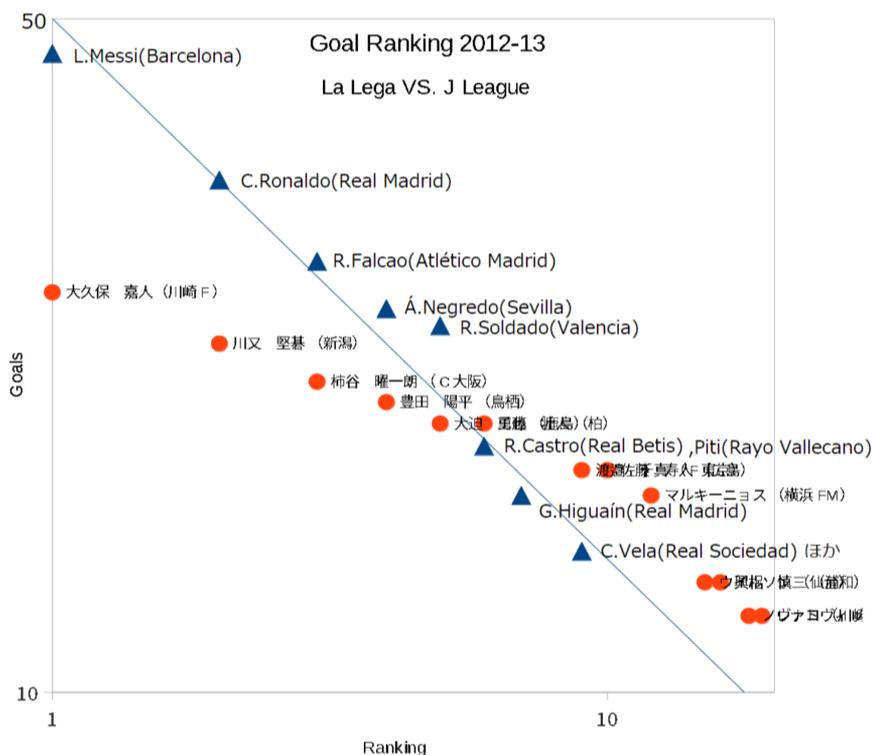


図 16. スペインリーグ(2012-13 シーズン)と J リーグ(2013)の得点ランキング(本稿のためにラベル追加). 上位の得点傾向に明らかな差がある.その原因を学生と考える.

グラフから、学生に例えば「なぜ、スペインと日本のゴール数ランキングに違いがあるのか？」などの問いを発して、さらなる興味をそそることにする。

いずれも、地味な統計の面白さを伝える。と同時に、「べき乗則」が内在する深遠な根拠に思いを馳せる機会を与える。ただ Zipf の法則は片方の変数が順位であり、災害で取り上げたサイズなどとは異なる点には留意が必要。しかし両者が両対数グラフ上における 2 変数の直線的関係という共通性を持っているのは大変興味深い。

最後に、この「べき乗則」はやがて、フラクタル (Mandelbrot, 1990), カオス (Lorenz, 1993), 自己組織化臨界現象 (Bak ほか, 1989) などの諸概念を中心とした「複雑系科学」に結晶する。その内容も講義では簡単に紹介している。

これら、地震に関連した前半のあと、講義は後半の火山災害、ほかの災害とリスク評価などに移るがその内容は続編として寄稿する。

5. 評価と議論

本稿は、半年の講義の前半部分のみの記載であるので、講義全体の評価については、続稿で行うことにする。この稿で議論となるのは、G-R 則とその再現モデルから導かれる、地震予知の不可能性に関する議論である。次の南海地震の確率予測などで話題となる、政府の地震調査委員会の地震の予測モデルがその前提として用いているのは、「固有地震説」

(例えば、石辺・島崎, 2007) という考え方である。これは同じ断層系では、よく似た規模の地震が繰り返し周期的に生じることを前提としている。さらに日本では上記モデルを拡張した「地震予測モデル」(Time Predictable Model, Shimazaki and Nakata, 1980) がある。ところが、G-R 則では本来、大地震の周期性は問題とならない。もしある地域に「固有地震」という性質に基づき発生する地震があると(つまり大地震に周期性があるなら)、ある地震サイズのところにピークができて G-R 則は部分的に破綻する。これを評価するには計器観測の期間が短く、実はこの論争の決着はついていない。これらの「地震予測モデル」の概要と論争の経過も学生には紹介することで、一方的な仮説の提示にはならないように配慮している。

6. 終わりに

2011 年東北津波の中継画像を見た衝撃から、始まった筆者の“想定外”の根拠を求める講義は、試行錯誤の末、地震の「べき乗則」という、その尻尾を見つけることで前半が終了した。あとに残る地震以外の災害、災害のリスク評価、地球史における破局的災害、講義全体を通じた評価などについては続編 Part2 に譲る。

<謝辞>

本講義の、資料作成には科研費基盤(C)No. 25350200 を使用した。タイの科学高校 KVIS のスタッフの方々、とりわけ Dr.Thanit Pewnim 氏, Dr.Janjira Maneesan 氏にはタイでの授業や資料収集の手伝い及び議論をしていただいた。大学事務方を初め、各年度の受講した学生諸氏にも世話になった。実験には大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎地学部を手伝っていただいた。顧問の井村有里教諭に便宜をはかっていただいた。これらの方々に感謝申し上げる。

付録 A.

付録 B. 「地球と災害」公開シラバス（対面授業を前提としたもの、抜粋）

授業の計画

1. ガイダンス+初回アンケート+自然科学の方法論, グラフ処理, 考え方
2. 地震の科学 (その1) 地震波形解析実習
3. 地震の科学 (その2) 地震の震度とマグニチュードを巡って
4. 地震の科学 (その3) 地震災害の特徴, とりわけ津波
5. 地震とべき乗則
6. 地震の予測は可能か?
7. 火山の科学 (その1) 火山の多様性, 火山灰観察
8. 火山の科学 (その2) 火山と火成岩, Krafft 夫妻のビデオを通して
9. 火山の災害の歴史と予測
10. 災害リスクをどう考えるのか
11. 大陸移動説から海洋底拡大説へ
12. プレートテクトニクスを巡る問題
13. 地球の生まれたころ (隕石衝突, 恐竜絶滅論争など)
14. 生物大量絶滅史と災害
15. 総合討論 (災害に対処するには: 子供たちに災害やリスクをどのように伝えるか? 未来に向けて)

文献:

- ANSS: Comprehensive Earthquake Catalog,
<https://earthquake.usgs.gov/data/comcat/>
- Bak, P. and C Tang(1989): Earthquakes as a self-organized critical phenomenon, JGR, Volume94, 15635-15637
- Burridge, R. and L. Knopoff(1967): Model and theoretical seismicity, BSSA 57 (3): 341-371.
- Gutenberg, B. and C. F. Richter (1941): "Seismicity of the earth". Geol. Soc. Am. Sp. Pap. 34: 105.
- 波多野恭弘 (2016): 物理屋のための地震学入門, 日本物理学会誌 Vol. 71, No. 12, 835-840,
- 石辺岳男・島崎邦彦 (2007): プレート間地震から見た固有地震説, 歴史地震 22, 157-167
- Ito, K. and M Matsuzaki (1990): Earthquakes as self-organized critical phenomena, JGR 95, 6853-6860
- 地震調査研究推進本部 (2015): 東日本大震災を踏まえて,
https://www.jishin.go.jp/main/shiryoshu/20years_3.pdf
- 加藤護 (2011): Burridge-Knopoff モデルのアナログ教材の開発, 地震第2輯, 63, 243-246,
- 小林修平・亀田夏帆・石川尚子・伊須田遼・中嶋菜衣・尾澤ちづる・金高霞・徳永早紀・萩永桃子 (2011): 「火星のあばたもえくぼ?」日本惑星科学連合高校生セッション予稿集
- 桑原 央治 (2011): <あきらめる>ということ, Chiorin 第7号, 2011
- 小松左京 (1973): 日本沈没上・下, 光文社, pp.409 および pp.418, ページ数はその後発行の文庫版による.
- Lada, A.(2011): Unzipping Zipf's law, Nature Jun 8, 164-5.
- Lorentz, E. N(1993): The essence of chaos, University of Washington Press, pp.227
- Mandelbrot, B.(1990): The fractal geometry of nature, Spektrum Akademischer Verlag, pp480.
- 松崎光弘 (1991), 私信
- Melbourne Museum(2010): A Day in Pompeii, YouTube Video, 8 min 39sec.
https://www.youtube.com/watch?v=dY_3ggKg0Bc
- National Geographic(2003); Volcano Nature's Inferno, Warner Home Video, 60 min.
- Newman, M.E.J.(2005): Power laws, Pareto distributions and Zipf's law, Contemporary Physics, 46 5, 323-351,
- 日本地震学会 (2012): 地震学の今を問う, 日本地震学会モノグラフ第1号, 東北地方太平洋沖地震対応臨時委員会編, pp.171
- 岡本義雄 (1997a): 地震のシミュレーションと地震予知-"基石モデル"の教材化-, 大阪と科学教育 11, 21-26
- 岡本義雄 (1997b): "基石モデル"と"砂山モデル"の教材化, 地球惑星科学関連学会 1997 年合同大会予稿集, 799.
- 岡本義雄 (2001): 生徒は"偶然"をどうとらえているか?, 地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集 CDROM
- 岡本義雄 (2004): モデルを意識した地学教材, とくに地震分野, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会特別公開セッション講演要旨, 64-75,
- 岡本義雄 (2015): 地震発生を模する「2次元バネブロックモデル」アナログ教材の製作と解析, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, G04-04
- 岡本義雄 (2018): 教材化バネブロックモデルの改良とその解析—南総里見“八剣山”モデル—, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, G05-P02

- 岡本義雄・古田佐代子・廣田伸之・佐藤雄亮 (2017): 気象庁 59 型地震波形記録を用いた波形教材, 地学教育 69, 125-137
- 大塚道男 (1971): 地震の起り方のシミュレーション第二部 地震の規模別頻度分布, 地震 第2輯 24, 215-227
- 理科年表 (2000): 国立天文台編, 丸善出版,
- Shimazaki, K. and T.Nakata (1980): Time-predictable recurrence model for large earthquakes, Geophysical Reserch Letter 7-4, 279-282
- 宇津徳治 (1984): 地震学第2版, 共立出版, 172
- Utsu, T., Yosihiko Ogata, Ritsuko S. Matsu'ura(1995): The Centenary of the Omori Formula for a Decay Law of Aftershock Activity. J. Phys. Earth, 43, 1-33

要旨

一般的に, 防災教育はいかに地震や火山噴火などの災害から逃れるか, いかに被害を最小に抑えるかなどに着目して論じられることが多い. しかし本論では, 科学者がいかに自然を解き明かすか, いかにデータを解析するかの方法論そのものを, 高校や大学教養課程での科学教育としてとりあげた例を紹介する. この目的のため講義前半では, 地震の「べき乗則」的ふるまいを中心に扱う. この地震における経験則は「グーテンベルグ・リヒター則 (G-R 則)」と呼ばれる. この題材が高校や大学教養課程で取り上げられることは数少ない. 最初に「基石モデル」という生徒にとって, 興味深いボードゲームとともに G-R 則を紹介し, その後, 地震のふるまいを再現する, 他の地震発生の計算機とアナログ諸モデルへと拡張する. 同時に講義の主なる受講者である文系やスポーツ系, 芸術系などの学生の関心を深めるために, Zipf の法則など, 社会現象のなかの「べき乗則」を, さまざまな話題を呼ぶような例とともに紹介する. そのあと, これらのモデルと学生にとって大変関心が高い対象である, 地震予知の可能性との関連を議論する.

キーワード: 自然災害, 地震, G-R 則, べき乗則, 地震予知