

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 20 日現在

機関番号：14403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350200

研究課題名(和文) “想定外” を科学する！ - 地震や自然災害に題材を求めて -

研究課題名(英文) Study the power law events -earthquakes or natural hazards-

研究代表者

岡本 義雄 (Okamoto, Yoshio)

大阪教育大学・教育学部・非常勤講師

研究者番号：80291201

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：近年の地震災害でなぜ“想定外”という言葉が頻発するのかを地学教育の面から検討する教材を開発した。特にこの問題で専門家の意識と一般の人や中高校生の意識の差に着目した。そのための教材として、教材用の地震計を開発し、学校における地震観測の条件を検討した。同時に気象台等の波形の教材化を図った。次に、想定外という言葉の元は地震や火山などの災害の「べき乗則」としての性質に着目し、これらの「べき乗則」の元となる災害のメカニズムや発生機構を考えるための教材を開発した。また偶然や周期性と言った災害と関連深い概念が、学生や一般の人々の災害像にどのような心理的なバイアスをかけているのかという検証も行った。

研究成果の概要(英文)：“Soteigai(Unforeseeable)” is an important word to describe the huge recent natural disaster such as Tohoku-Okai Earthquake. We developed some teaching tools for studying these unforeseeable events, because there is a big gap between professionals and public. Simple and easy-made seismometers were developed and operated a practical observation of local and foreign earthquake using our seismographs. At the same time, seismograms recorded by JMA were compiled as a classroom exercise. We regard the term “Soteigai” is originated with the power laws behavior of natural hazards. Therefore we developed some analog and computer models to demonstrate in a classroom how these power law behaviors are generated. Also, we studied how psychological biases about “randomness” or “periodic” concepts affect students in their hazard images.

研究分野：地学教育

キーワード：教材用地震計 地震波形 べき乗則 バネ-ブロックモデル べき乗則 G-R則 想定外 災害

1. 研究開始当初の背景

2011年東北地方太平洋沖地震で、“想定外”という言葉が舞った。地学教育の現場でも、この未曾有の災害に何をどのように語ったらよいのか苦慮した。筆者はこれ以前から地震の「G-R 則」(べき乗則)の統計としての重要性に気付き、これを教材化する方法を検討していた。地震の「G-R 則」を考えれば、日本列島で 500 年に一度の M9 の地震は決して想定外ではなかった。しかし一般の人々には「G-R 則」は全く知られていなかった。専門家と一般の人々との地震という現象に対する認識の違いに愕然とした。これらの溝をうめる科学教育の必然性を痛感した。本研究はそれらの背景と何よりもこの地震の被害の大きさに慄然とした筆者自身の経験を出発点に置いている。

2. 研究の目的

2011年東北太平洋沖地震と津波のあと“想定外”という言葉が世間を舞った。その直後からの福島原発事故では、漠然としたリスクや不安への科学的な対処の難しさが浮かびあがった。こうした千年に一度あるかないかのシステムサイズのカタストロフの科学的解釈、そしてリスクや不安への情緒ではない科学的対応。それら、今までほとんど顧みられなかった視点を科学教育、とりわけ地学教育に取り込むのが本研究の目的である。誤解の多い地震学の内容をデータから学ぶ教材を準備すること。同時に「複雑系」諸科学の成果を生かし、過去の自然災害や社会現象から学ぶことで、未来への対処を議論できる「しなやかでロバスト」(北野・竹内, 2007)な感受性を持つ生徒・学生を育てる教材を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

地震や災害に関する専門家と一般の人々との間の認識のずれを埋めるための、科学教育に資する教材を開発する。そのために、
 i) 地震波形を用いた教材を作成する。とりわけ中学高校の教科書に出てくる地震の基本、震源決定、M の決定、震源メカニズム決定における P 波初動の役割などをわかりやすく理解できる教材を開発する。
 ii) 地震を計測する地震計が未だ専門家的手中にしかない現状を改め、中高生や一般の人でも製作可能な簡単な教材用の地震計を製作する。またそれを用いた学校における地震観測の方法を試行する。
 iii) 「G-R 則」(べき乗則)の持つ意味を理解しやすい教材を作成する。とくに地震の発生モデルである、バネブロックモデルを中心に、これらの教材化を図る。また自然現象のみならず、社会現象にも頻出する「べき乗則」についても、教材化できる例を検討する。
 iv) あわせて他の自然災害にも共通する「べき乗則」としての側面を考慮し、これら想定外の災害とリスクとの関連、および一般の

人々が災害やリスクのイメージに持つ心理的バイアスについて検討する。

4. 研究成果

次に開発した具体的教材などの研究成果について、記す。

(1) 地震波形教材

気象庁 59 型地震計の記録波形を用いた中学・高校用の波形教材を開発した。この教材の主目的は 3 観測点の波形よりの震源決定、M (マグニチュード) の推定などである (Okamoto et.al., 2013)。また M の計算は対数を含むがこの部分を中学生でも計算可能なように、新たに開発した「ノモグラム」(岡本, 投稿中)を使用している。実習により気象庁地震カタログに近い値を中高の生徒でも算出可能である。さらにここで開発した実習の手法は、公開された同様の 59 型地震計波形記録(地震調査研究本部 Website 地震記象紙検索システム)を用いて地域ごとに波形を検索収集し、地域に応じた教材を作成することへの適応が可能である。なお、本教材作成の途中で、高校教科書に書かれた震源距離に関する大森公式の係数の値について懸念が生じ、現在この問題を検証中である(加藤・岡本, 2013)。

(2) 震源メカニズムのための初動分布図

気象庁の地震カタログ(地震月報)より各観測点の P 波の初動の位相(UD)を抽出し地図に記録した図を地図作成用フリーソフト GMT などを用いて作成した。4 象限分布をきれいに示す図だけでなく、正断層、逆断層に対応する図も合わせて作成した(岡本, 未公表)。これらは P 波初動と震源断層の動きの関係を示す教材として使用できる。

(3) 上記の震源メカニズムと P 波初動分布を机上で説明する教材用の震源モデルを製作した。モデルは塩ビをコーティングした鉄パイプで躯体を、また透明アクリル板と透明半球およびそれに接続したプラスチックスリンキーバネで構成される。これにより横ずれ断層の急激なずれが P 波初動の 4 象限分布を生み出すことの説明が可能となった(岡本, 2014)。下図にその試作モデルを示す。

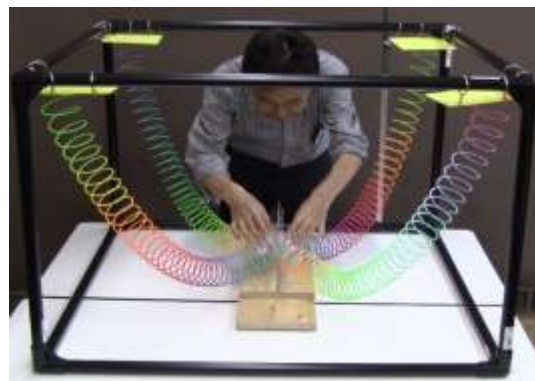


図 1. 震源球+スリンキーバネモデル

(4) 教材用の簡易地震計

身近なL字金具と通販等で購入可能な丸型ネオジウム磁石を組み合わせて錘を製作した。コイルボビンにはアクリル丸棒と板材を組み合わせ、ウレタン線を巻いた。結果、中学高校生でも組み立て可能な地震計センサを開発した(岡本, 2015a)。記録には、USB接続で簡単にPCに接続してAD変換が可能なICモジュールのArduino Unoを用いた。また感度を上げるためのアンプは、半田付けを用いずに、ブレッドボードで組み立てられる工夫した。記録用ソフトウェアも無料のフリーソフト(Processing言語)で組み立てられている。これにより簡単に電磁センサから記録装置まで特別な技術なしに、大変安価に製作することが可能となった(岡本, 2015b。岡本・伊東 2016)。次にセンサ部と信号処理部の写真を示す。



図2. 簡易地震計のセンサ部

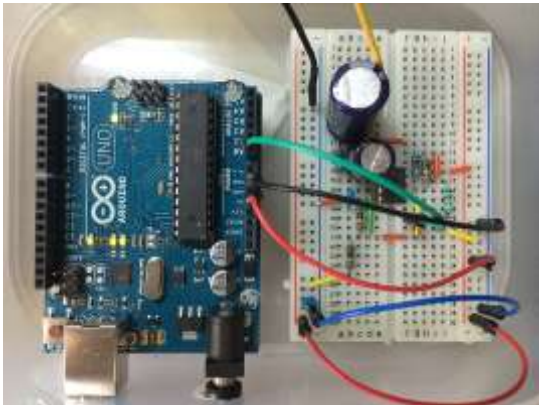


図3. 信号処理回路(左: Arduino 右: 積分アンプ)

またこの地震計を用いた国内および海外の地震の観測を、大阪教育大学柏原キャンパス、宇都宮大学および大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎などで試験的に実施した。この過程で多数の自然地震の波形データを取得するとともに、その感度や特性を検討した。この結果、学校などで本地震計を用いて簡単に国内国外の地震観測が行えることがわかった。国内におけるM6、外国のM7~8クラスの地震が十分観測可能であることがわかった。ただ、上下動地震計に関しては従来開発のもの(岡本, 1997)を用いたがまだ改

良の余地を残している。次の図はその観測波形の一例を示す。

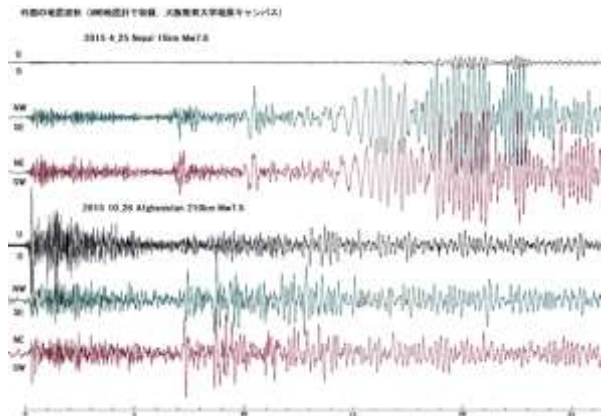
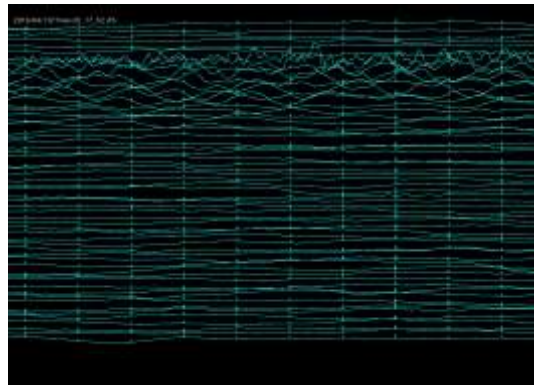


図4. 観測波形: 上: 附属高校(大阪市天王寺区)4Fでの観測画面(兵庫県南東部, M3.7 深さ14km), 下: 大阪教育大学柏原キャンパスで観測した波形の切り出し(ネパール Mw7.8 アフガニスタン Mw7.5, 水平動(緑線と赤線)が本研究の簡易地震計の改良型による。上下動(黒線)はそれぞれ専門家用のものを流用)

(5) 本格的な教材用地震計の製作と観測

上記の簡易地震計の比較校正を兼ねて、やや本格的な教材用の地震計を製作した(岡本, 2015d)。材料はアルミ厚板、真鍮錘などで、気象庁59型地震計(振子の固有周期5秒、変位倍率100倍)とほぼ同等の仕様で感度はさらに強力なものを目指した。下記にその振子の概念図と写真を示す。

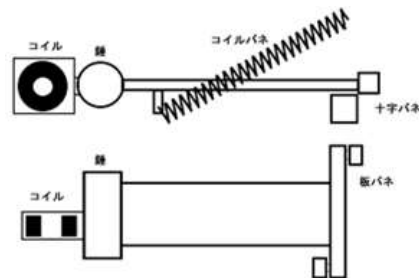


図5. 本格的な地震計の振子の概念図(岡本, 2015dより)



図6. 教材用地震計（左：上下動，中・右：水平動）

積分アンプの感度を増大したため、特に外国の地震を中心とする地震波形を現在多数収集中である。その成果は今後地震波形集などの形で公開を予定している。

(6) 教材用バネブロックモデルの開発

加藤 (2010) にならって、教室でデモンストレーション可能なバネブロックモデルを鉄厚板の切断加工で製作した。このモデルは鉄ブロックをプレートや断層の一部と考え、全体をゆっくりと動かす（つまりプレートの動きを模している）ことで、どれだけの数のブロックが同時に滑るかをカウントし、それを生じた地震のサイズと考えると、地震のサイズと個数の関係を解析するモデルである。ブロック間をつなぐバネには輪ゴムを用い、全体を駆動するための木枠も製作した。このモデルでは条件が様々に変更可能で、個々のブロックが動きやすくなり、全体としてブロックが動きやすくなるなどの調整も可能である。

カウント結果は条件にもよるが G-R 則と調和的な結果を見た。次にこのモデルの全景と同時に滑ったブロック数のカウント数（地震のサイズ）と頻度の関係を示すグラフを示す。

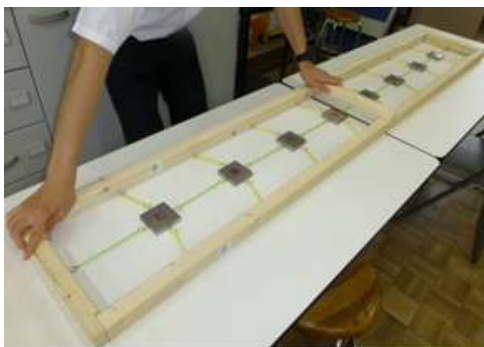


図7. バネブロックモデル（岡本，2015c より）

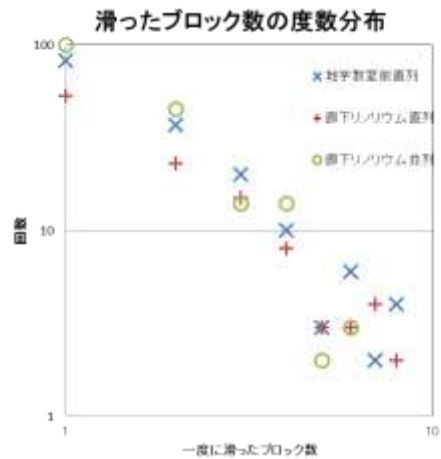


図8. 上記モデルの地震のサイズ（同時に滑ったブロック数）と頻度のグラフ

また同時にこのアナログモデルを補填する数値モデルも Processing 言語を用いて作成した。バネ、ブロックの条件を変えた場合の動きのシミュレーションを見せることができる（岡本，未公表）。さらにこれによる地震のサイズと頻度の統計も試みており、G-R 則に近い分布が得られることを確認している。



図9. バネブロックモデルの数値シミュレーション（上：実行画面，下：ブロックの変位や力などの時系列図示）

(7) 海底磁化モデルの製作

災害と関連して高校地学で重要な単元である「プレートテクトニクス」の成立過程を示す教材として、地磁気異常の縞模様を観察できる「海底磁化モデル」を製作した。材料には発泡スチロールと磁化させた釘を用いた。また計測は専門のガウスメータまたは iPhone の磁気センサアプリを使用した。教室で簡単に Vine&Mathews (1963) に示された海底磁場による磁気異常の縞模様を定性的に示すことができ、プレートテクトニクスの成

立過程を実感を伴って生徒に提示することが可能になった(岡本・井村, 2015).



図 10. 海底磁化モデルと iPhone 地磁気測定アプリによる地磁気変化の測定.

(8) 「偶然」や「周期性」概念への一般の人々のバイアスの検証

「偶然」や「周期性」に関して学生や一般の人々が持つイメージを簡単なテストにより調査し、これらの性質を誤解している個人が半数以上に及ぶことを検証した(岡本, 2013). これらは地震や災害の生じ方や可能性を、一般の人々が誤解し、その結果専門家の説明の意図とは異なる解釈をする場合があることを示唆する. また、現在の学校教育において、「偶然性」や「周期性」といった概念は災害との関連でほとんど触れられていないことにも注意したい. なおこの研究は災害のリスクを定量的に評価する手法と関連させながら現在も継続中である.

以上が本研究の主な成果である. なお未発表の研究成果も、研究成果がまとまり次第、学会発表や研究代表者個人 Web サイトを通じて今後公開する予定にしている.

<参考・引用文献>

北野宏明・竹内薫：したたかな生命，ダイヤモンド社，pp. 229, 2007

岡本義雄：フィルムケースで地震計をつくってみよう，日本地震学会広報紙「なみふる」創刊号，5, 1997

加藤 護：Burridge-Knopoff モデルのアナログ教材の開発，地震第 2 輯，63, 243-246, 2011

Vine & Matthews：Magnetic Anomalies Over Oceanic Ridges，Nature **199**：947-949, 1963

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

岡本義雄・伊東明彦：教室でできる地学実験「ANB 地震計を作ろう! ③」，日本地震学会広報紙「なみふる」No.104, 6-7, 2016 (査読なし)

岡本義雄：教室でできる地学実験「ANB 地

震計を作ろう! ②」，日本地震学会広報紙「なみふる」No.103, 6-7, 2015b (査読なし)

岡本義雄：教室でできる地学実験「ANB 地震計を作ろう! ①」，日本地震学会広報紙「なみふる」No.102, 4-5, 2015a (査読なし)

〔学会発表〕(計 10 件)

岡本義雄：地震の規模別分布とバネブロックモデル，日本地学教育学会第 69 回全国大会福岡大会講演予稿集，100-101, 2015c

岡本義雄：やや本格的な教材用地震計の製作，日本地学教育学会第 69 回全国大会福岡大会講演予稿集，2015d

岡本義雄：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 CDROM, 2015e

岡本義雄，井村有里：地磁気異常の縞模様を観察できる「海底磁化モデル」の製作と解析，日本地球惑星科学連合 2015 年大会 CDROM, 2015

Yoshio Okamoto, Akihiko Ito: A new horizontal seismograph system for school use employing Arduino and Processing, 7th International conference on Geoscience Education (GeosciEdVII) at University of Hyderabad, India, Sep. 2014

岡本義雄：透明半球とスリンキーバネで構成する教材用震源モデル，日本地球惑星科学連合 2014 年大会 CDROM, 2014

Yoshio Okamoto, Satoko Furuta, Nobuyuki Hirota: Class Room Exercises Using JMA-59-Type Seismograms for Earthquake Study at High-School Levels, 2013 AGU Fall Meeting, Abstract

岡本義雄：「偶然の認識」と「べき乗則」ふたつながらの地学の細道，京都大学防災研究所一般研究集会，要旨，2013

加藤護・岡本義雄：距離に関する大森係数について，日本地震学会 2013 年秋季大会講演予稿集，102, 2013

古田佐代子，廣田伸之，岡本義雄：気象庁 59 型地震計波形記録を用いた学校教材の開発(実践編)，全国地学教育研究大会・日本地学教育学会全国大会講演予稿集，148-149, 2013

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等（研究代表者個人サイトのうち）

科研費関連研究の成果を公開する頁

http://www.cc.osaka-kyoiku.ac.jp/~yossi/2015_Kaken/

ANB 地震計（簡易教材用地震計）の製作について参考になる事項を公開した頁

<http://www.cc.osaka-kyoiku.ac.jp/~yossi/ANB/>

※本報告書とは別に作成した、科研費報告書の冊子のpdfが上記研究代表者個人サイトからダウンロード可能.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡本 義雄 (Okamoto Yoshio)

大阪教育大学・教育学部・非常勤講師

研究者番号：80291201

(2) 研究分担者

伊東 明彦 (Ito Akihiko)

宇都宮大学・教育学部・教授

研究者番号：70134252

(3) 連携研究者

()

研究者番号：