

数学を用いた防災用教材の開発

鈴木正樹^{*1}・中野友暉^{*2}・古田皓晟^{*2}・高津朗真^{*3}・原賀紫織^{*4}

Development of Workbook for Disaster Prevention using Mathematics

SUZUKI Masaki^{*1}, NAKANO Yuki^{*2}, FURUTA Kosei^{*2},
TAKATSU Roma^{*3}, HALAGA Shioli^{*4}

Abstract: One of the disaster prevention education's problems is that there are no easy workbook which can be learned about a nature of natural disaster and a countermeasure against natural disaster. Therefore, we have developed a prototype of the workbook that can learn the occurrence mechanism and the nature using mathematics about an earthquake and a tidal wave in particular from the inside of a natural disaster. In this paper we report 'the development of workbook for disaster prevention using mathematics' and 'experience learning for a junior high school student : Disaster prevention education by mathematics' done in National Institute of Technology, Numazu College at current year.

Key Words: Disaster Prevention Education, Mathematics Workbook Development

1. はじめに

現在の防災教育における大きな課題の1つとして、防災教育の内容についての課題が挙げられている。どこの学校や地域でも普遍的に取り組めるような防災教育のミニマムスタンダードの提示の必要性、既存の防災教育の素材やコンテンツにおける水平展開や共有の不十分さ、その目的の不明確さ、自然災害の性質から対策までを合わせて学べる教材の不足、などである。さらに、自然と人間のような内容までを踏まえた防災教育科学プログラム等の体系的な提供や科学技術を内容として扱う際の教える側の学習機会の提供があまりみられない、などの指摘もある[1]。

これらの課題を踏まえ、前報では、中学校の補助教材として普遍的に用いることができるように「防災教育における数学問題集の開発」について報告した[2]。この防災用の数学問題集は、中学校で学習する数学のすべての単元において、防災に関連付けた問題を作成し、まとめたもので、学習進度に沿った数学の問題を解きながら、防災について

学べることをコンセプトにまとめたものである。これは、防災教育の重要な受け手として、児童生徒を対象にしていることを鑑み整理したが、防災教育における数学の有用性は示せるものの、単元に拘るあまりに防災教育用の教材としては実用に耐えうるには十分でない箇所がみられた。

本小文は、今年度、沼津高専で開講した課題研究「数学を用いた防災教育」の活動として、前述の防災教育における数学問題集の改良版である数学を用いた防災用教材の開発について報告する。また、開発した防災用教材を用いて、今年度、沼津高専で実施した「中学生のための体験授業：数学で防災教育」についてとその受講者のアンケート結果を併せて報告する。なお、この活動は、「文理工連携による生きる力創出を目指す防災教育の展開に関する研究」（課題番号19K21803）の一部である。

2. 数学を用いた防災用教材の開発

防災用の数学問題集の課題点を精査し、数学を用いて防災教育を行うというコンセプトは崩さず、課題研究受講学生4名（中野、古田、高津、原賀）がアイデアを出し合い、今年度、新たに、数学を用いた防災用教材を開発した。

2. 1 教材開発の経緯

過去に実施した体験授業のアンケート結果をみると、防災教育で学びたい内容として、およそ8割の受講中学生から自然災害の発生メカニズムが挙げられている[2],[3]。そこで、防災用の数学問題集に、災害現象や防災科学技術の

*1 教養科

Division of Liberal Arts

*2 機械工学科

Department of Mechanical Engineering

*3 制御情報工学科

Department of Control & Computer Engineering

*4 物質工学科

Department of Chemistry & Biochemistry

研究成果を用いて、地震・津波・火山噴火・台風・竜巻等の自然災害の発生メカニズムの解説を取り入れた上で、これら自然災害の性質を表すのに用いられる様々な数式に着目し、それら数式を読み解くことで災害そのものを理解できるような、より防災としての専門的な要素を強化した教材を開発するに至った。

また、防災用の問題集においては対象を中学生とし、中学校の学習指導要領の各単元に拘る余りに生じた弊害を勘案し、本防災用教材は、その対象を子どもからお年寄りまで幅広く一般の人々も自学自習の範囲で理解できるものになることを目指した。

2. 2 教材の構成と内容

本防災用教材が備えるべき条件の中で最も重視したのは、数学の立場は崩さずに、自然災害の性質から対策までを数学の問題を解きながら学べるようにしたことである。

各章を自然災害ごとにまとめ、どの章から読んでも問題なく理解できるよう配慮し、個々が学びたい自然災害を選択し、学習できるようにした。また、できるだけ分かりやすく、興味をひくものであることも重視し、図や表をカラーで取り入れることとした。教材の章と節構成を表 1 に示す。

表 1 教材の章・節構成

章	節
第 1 章 地震	1 節 地震発生メカニズム
	2 節 マグニチュードと震度
	3 節 備えと対応
	4 節 まとめと章末問題
第 2 章 津波	1 節 津波発生メカニズム
	2 節 津波の速さと高さ
	3 節 備えと対応
	4 節 まとめと章末問題

各章の基本構成は、

- ① 各災害の発生メカニズム
- ② 各災害の性質を表すのに用いられる数式
- ③ 数式を理解するための数学的内容
- ④ テーマに応じた数学の例題、演習問題
- ⑤ 各災害に関連するコラム等

である。②、③の例を図 1 に、④、⑤の例を図 2 に示す。

①では、アンケートで要望が多かった災害発生メカニズムを図を多用することで分かりやすい解説を記載した。専門用語は、平易な言葉に置き換えられるものは誤解のない範囲で置き換えた。

②では、各災害の性質に関連する数式を用いて解説した。例えば、累乗根を用いて、津波の速さと高さを求める式を

2.2 津波の速さと高さ

津波の速さは水深の平方根に比例し、高さはグリーンの法則に従う。

津波の速さ

水深 h (m) における津波の速さ V (km/h) は

$$V = \sqrt{9.8h}$$

で与えられる。

津波の高さ (グリーンの法則)

ある沖合での波の高さを H_1 (m)、水深を h_1 (m) とし、沿岸付近の波の高さを H (m)、水深を h (m) とするとき、

$$H = \sqrt{\frac{h_1}{h}} \times H_1$$

が成り立つ。

ここで、津波の速さ、高さを求める公式に現れる累乗根 (指数) について確認しておこう。

【累乗根 (指数)】

【定義】 $a^n = a$ となる x を a の n 乗根という。

【例 1】 4 の 2 乗根 (平方根) は ± 2 である。

27 の 3 乗根 (立方根) は 3 である。

16 の 4 乗根は ± 2 である。

2 乗根、3 乗根、4 乗根... をまとめて **累乗根** という。

・ n が偶数のとき、

$a > 0$ ならば a の n 乗根は 2 つあり、それを $\sqrt[n]{a}$ 、 $-\sqrt[n]{a}$ と表す。

$a < 0$ ならば a の n 乗根は存在しない。

・ n が奇数のとき、

a の符号に関わらず a の n 乗根は 1 つあり、それを $\sqrt[n]{a}$ と表す。

【例 2】 $\sqrt{4}$ は 4 の 2 乗根なので $\sqrt{4} = 2$ である。

(【注意】 2 乗根のときは \sqrt{a} とせず、根号の添え字 2 は省略し、 \sqrt{a} とする。)

$\sqrt[3]{8}$ は 8 の 3 乗根なので $\sqrt[3]{8} = 2$ である。

【例 3】 $-\sqrt{4} = -2$ 、 $\sqrt{-4}$ は存在しない、 $\sqrt[3]{-8} = -2$ 、 $-\sqrt[3]{-8} = 2$

【問 1】 次の各値を求めよ。

- 1. $\sqrt{9} =$
- 2. $\sqrt{-9} =$
- 3. $\sqrt[3]{27} =$
- 4. $\sqrt[3]{-27} =$
- 5. $\sqrt[3]{16} =$
- 6. $\sqrt[3]{-16} =$
- 7. $-\sqrt[3]{16} =$
- 8. $-\sqrt[3]{-16} =$

図 1 ②災害の性質を表す数式、③数学の単元の例

【例題 1】 水深 100m における津波の速さを求めよ。

津波の速さは、

$$V = \sqrt{9.8 \times 100} \approx 31.3$$

より、およそ 31.3 km/h である。

【演習 1】 次の水深における津波の速さを求めよ。

- (1) 水深 16m (浜名湖最大水深)
- (2) 水深 70m (東京湾最大水深)
- (3) 水深 1200m (富山湾最大水深)
- (4) 水深 2500m (駿河湾最大水深)

【例題 2】 水深 16m のある沖合で高さが 1m の津波が沿岸付近に到達したときの高さを求めよ。ただし、沿岸付近の水深は 1m とする。

沿岸付近の津波の高さは、グリーンの法則より

$$H = \sqrt{\frac{16}{1}} \times 1 = 2$$

したがって、2m である。

【演習 2】 次の条件を満たす津波が沿岸付近に到達したときの高さを求めよ。

- (1) 水深 100m で波の高さ 2m
- (2) 水深 2500m で波の高さ 4m

【コラム：沿岸での津波の高さの予測】

沖合の (水深の深いところの) 津波が沿岸の水深の浅い場所へくると、津波のスピードが遅くなり、前の波と後ろの波との間隔が短くなる。しかし、ひと波に蓄えられるエネルギーは同じはずで、波面が海岸線に並行に入射する場合には、波と波との間隔が短くなった分、結果として、波の高さが高くなる。これをグリーンの法則という。気象庁では、グリーンの法則で水深 1m での高さを求め、これを沿岸での津波の高さとしている。

図 2 ④数学の例題と演習問題、⑤コラムの例

提示した。

③では、数式を理解するのに必要な数学的知識を、定義や定理のみでなく、例題やその演習を入れて解説した。ここが、数学的要素の強い部分であり、この防災用教材の売りである。

④では、防災・災害・減災・復興等の防災教育に関連した幅広いキーワードをもとに、各災害に対応する問題を作成し、まとめた。

⑤では、その章に関連する興味深い話題をコラムとして紹介した。例えば、津波が沿岸部に近いほど高くなる仕組みや、気象庁はグリーンの法則で沿岸部の水深を1mとして津波の高さの速報を出していること、などである。

2. 3 教材開発の展望と可能性

現在学校で行われている防災教育といえ、避難訓練や防災訓練等の実践的な活動を除いて、防災・災害の知識を身に付けるための手段は理科に偏っている。そこに、数学という他の方面から防災・災害の知識を得られる手段を提供することは独自性の他、大きな意義があると考え、本教材が多くの人目に触れるよう公刊を目指して開発している。現時点では、学校や地域の公開講座や体験授業における地震及び津波についての防災用教材として使用できるレベルには達しているが、より分かりやすく、より世に求められている教材になるには、改良の余地がまだまだ多くある。今後、関与者からの助言を受けながら、さらなる精査を重ね、引き続き、公刊を目指していく。

この防災用教材が公刊されることで、多くの人が、最近注目されている防災に数学が役立つことを知り、日常的に数学に触れる機会が増え、数学の学習意欲向上に繋がることが考えられる。学校教育における教科には、教養を身に付ける社会や国際社会において必要不可欠な英語等、身近な場所に分かりやすい需要がある一方、数学は目にみえて分かりやすい例が少ない。学校や地域で学ぶ防災教育に数学を用いるという新しい視点から防災に触れ、知識の部分での防災力の他、数学力の向上の可能性に期待している。

3. 中学生のための体験授業

10月6日(日)本校の共用教室1にて、今回開発した教材を用いて、中学生のための体験授業「数学で防災教育」を実施した。受講者は中学生13名及び、その保護者10名である。

3. 1 体験授業

津波の速さや高さを求めるには累乗根(指数)が含まれ

る公式を用いること、津波伝播の仕組みはそれらの公式を用いて説明できること、地震の規模や放射性物質の放射線量等とても大きな量を表すには対数の概念が必要であること、三角比を用いることで津波の高さを予測できることを解説した。累乗根や対数、三角比は、中学生の学習範囲外であるが、今回開発した教材は、一般向けに自学自習できるよう構成していたことと、補助学生が数学の部分をフォローしたことによって、受講者たちは、積極的に授業に参加し、防災意識を高めることができた。

3. 2 アンケート

体験授業終了後に、今後の活動の参考となるように中学生の受講者13名にアンケートを実施した。その結果の一部を報告する。

[A] 防災教育について

- (1) 学校で行われている避難訓練は必要だと思いますか。

はい 13人 いいえ 0人

- (2) 学校での防災教育(避難訓練を含む)は興味が湧く内容でしたか。

はい 10人 いいえ 3人

・毎回同じような内容だから。

・実際に役に立つかわからないから。

- (3) 学校での防災教育(避難訓練を含む)の問題点・改善点を教えてください。

・緊張感がでない。

・複数人で協力して行える訓練をしたい。

- (4) 避難訓練以外の防災教育を受けたことがありますか。

はい 4人 いいえ 9人

・防災マップ作り

・消火活動

・煙の中を体験

・災害についての授業

- (5) 学校での防災教育で学びたい内容はどのようなものですか(複数回答)。

地震災害発生メカニズム 7人

地震以外の災害発生メカニズム 10人

日頃から気を付けておくこと 2人

災害に備えての家庭での備蓄 3人

災害発生直後にとるべき行動 8人

避難場所・避難方法 4人

社会の取り組み 3人

災害時のツール作成 7人

住んでいる地域の起こりやすい災害 8人

過去の体験談・過去の災害の確認 3人

防災ボランティア 2人

[B] 体験授業について

- (1) 体験授業「数学で防災教育」を受講した理由を教えてください (複数回答).

沼津高専に興味がある	8人
防災教育や災害に興味がある	1人
数学や理科が好き	11人
同時間帯の講座が埋まっていた	2人

- (2) 体験授業の内容は理解できましたか.

かなり理解できた	4人
ある程度理解できた	8人
理解できなかった	1人

- (3) 体験授業を受けて数学は防災に役に立つと思うようになりましたか.

思うようになった	13人
思うようにならなかった	0人

- ・数学の公式を使うことで津波の高さや速さが計算できたから.
- ・予めこういった数学の知識があることで津波の対策が立てやすくなるから.
- ・数学の観点からも考えてみることで災害の危険性を再確認することができたから.

- (4) 体験授業を受けて防災意識が高まりましたか.

高まった	13人
高まらなかった	0人

- ・津波の高さや地震の規模が数値化されて、災害の怖さが分かったから.
- ・防災が好きな数学と関わりがあることが分かったから.
- ・沼津付近で発生する津波は、非常に高くなってしまいうことが計算で分かったから.

[C] 防災用教材について

- (1) 教材の出来はどうか.

とても良い	8人
良い	5人
特に何も思わない	0人
悪い	0人

- (2) 市販された場合、購入する気になりますか.

絶対を買う	0人
値段次第で買う	5人
買うかもしれない	6人
わからない	2人
買わない	0人

- (3) 教材に対しての意見や感想、もしくは改善点など、お気づきの点を教えてください.

- ・あまり解いたことのない問題があり面白そう.

- ・カラーの方がいいと思う.
- ・多様な問題があってよかった.
- ・解説のページが分かりやすかった.

4. 今後の展開

今回開発した防災用教材には、地震と津波の発生メカニズムの分かりやすい解説を載せるとともに、その性質を主に関連する数式を用いて解説した。また、数式を理解するために必要な数学的知識は定義から与え、最低限必要な内容は例題や問題として、学習者自らが解くことで理解するよう工夫した。自然災害にはこの他、火山噴火・台風・大雨・竜巻・洪水等、様々なものがある。今後はこれらの発生メカニズムやその性質の解説を数学的視点から取り入れ、幅広く対応できる防災用教材として、水平展開や共有を目指していく。

著者は、文理工連携による防災教育の研究グループを立ち上げており、その活動は年々広がり、現在は、理学分野2名、工学分野2名、人文・社会学分野3名の連携により防災教育を進めている。本教材の最終的な目標は、この強みを生かした防災教育における一貫通貫の教材開発である。ここで、一貫通貫の教材とは、これまで個別に実践されてきた、自然災害の発生メカニズムの理解(理学)、事前の備えから被災時の対応(工学、社会学)、さらに復興・復旧(理学、工学、人文社会学)までの防災教育における最初から最後までをことばの検討(人文学)を踏まえて、まとめたものを指す。

将来的には、この防災用教材が、学校教育の場や自治体などで広く活用され、多くの人々の防災意識を高めることに寄与することを期待する。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(挑戦的研究(萌芽)19K21803)の助成を受けて行った。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 文部科学省, 第6回防災教育支援に関する懇談会, 配布資料6-3, (2007)
- [2] 鈴木正樹, 飯尾成輝, 長井是親, 齋藤吾郎, 松本行真: 防災教育における数学問題集の開発, 沼津工業高等専門学校研究報告集, 第52号, (2018), pp.55-58
- [3] 鈴木正樹, 宇野光輝, 大森理道, 小林大騎, 松本行真: 防災教育における数学の役割, 沼津工業高等専門学校研究報告集, 第51号, (2017), pp.69-74.