

KeTCindyJS を用いた防災・減災教育用教材の作成

鈴木正樹^{*1}, 黒岩佑真^{*2}

Preparation of Teaching Materials for Disaster Prevention and Mitigation Education Using KeTCindyJS

SUZUKI Masaki^{*1}, KUROIWA Yuma^{*2}

Abstract: The digitalization of education has progressed through the Giga School concept and the Corona Disaster. In the future, the use of ICT and Web in education will spread, and teaching materials for disaster prevention and mitigation education are also expected to be provided as online teaching materials. In this paper, we report on the examples of teaching materials for disaster prevention and mitigation education created using KeTCindyJS, mathematics teaching materials creation software, and on two lectures conducted using these materials.

Key Words: Disaster Prevention, Disaster Mitigation, KeTCindyJS, Teaching Materials

1. はじめに

防災・減災教育に関する教材は、小学校や中学校の授業で使用される副読本や啓発動画、資料等の教育に重きを置いたものから、公開講座や出前授業、地域の防災イベントなどで使用されるカードやすごろく等のゲーム性の高いものまで、多種多様なものが開発されている。開発者も個人や学校、民間企業、NPO 法人、公共機関など様々である。世にあるこれらの教材を概観するには、最早一望できる範囲を遥かに超えてしまった印象もあるが、学習テーマや目的、対象者、実施環境に合わせて使用することが重要であり、想定外の自然災害に備えるためには、多角的な視点による防災・減災教育用教材の社会的存在意義は大きいといえる。

筆者もこれまでに、数学と防災をキーワードとした防災教育活動のなかで、防災・減災教育用の中学生向け数学問題集や小・中学生向け算数・数学ドリル教材を開発してきた ([1]~[3])。Giga スクール構想により、教育現場にはパソコンやタブレット等の ICT 端末機器が整備され、コロナ禍を経て、教育のデジタル化が進んだ現在は、ICT 活用や Web 利用を目指し、AR 教材や VR 教材の開発に着手している。一方、数学教育の観点から、教育効果の高い数学教材の提供を目的に、数学教材作成ソフト KeTCindy にて図やグラフなどの幾何教材を作成し ([4])、それらを HTML ファイルとして生成

できる KeTCindyJS を用いて、オンラインで活用できる動的な数学教材の作成も行っている。

本小文では、数学教材の作成を通じて得られた知見を活かし、KeTCindyJS を用いて作成した防災・減災教育用教材の一例とそれらを活用した 2 つの講座について報告する。

2. KeTCindy

KeTCindy は、動的幾何ソフト Cinderella2 を GUI とした TeX 文書の挿図グラフィックコードを生成するツールである。Cinderella2 は GeoGebra や Cabri などの動的幾何ソフトウェアと同様に幾何図形をインタラクティブに描画することができるが、それらにはない汎用的なプログラミング言語 CindyScript を用いて描画できるという特徴がある。また、統計処理ソフト R の他、Scilab や Maxima などの無償のソフトウェアとも連携して処理結果を取得できる。

KeTCindyJS は、CindyJS (JavaScript ベースのフレームワーク) で、KeTCindy のライブラリを利用し、HTML ファイルを生成するフレームワークであり、これを用いることにより、動的 HTML 教材が作成できる (図 1)。

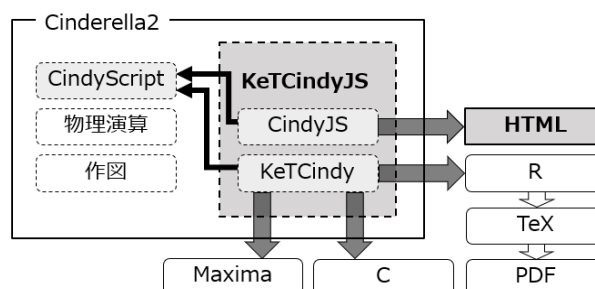


図 1: システムの概念図

*1 教養科

Division of Liberal Arts

*2 制御情報工学科

Department of Control & Computer Engineering

KeTCindyJS による教材作成は、作成する図やグラフの全体像が Cinderella2 の動的幾何画面に描画され、スクリプトエディタ画面で CindyScript を基にした KeTCindy プログラムを入力することにより行う(図2)。作成した教材を HTML ファイルとして出力するには、Cinderella2 のメニュー画面から、「HTML に書き出す」を選択、実行した後、動的幾何画面内の「Ketjsoff」ボタンをクリックするのみである。この操作により、オフライン実行の HTML ファイルが生成される(図3)。

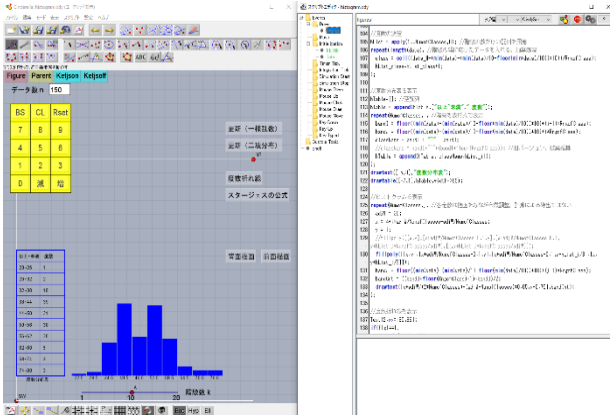


図 2：動的幾何画面(左)とスクリプトエディタ画面(右)

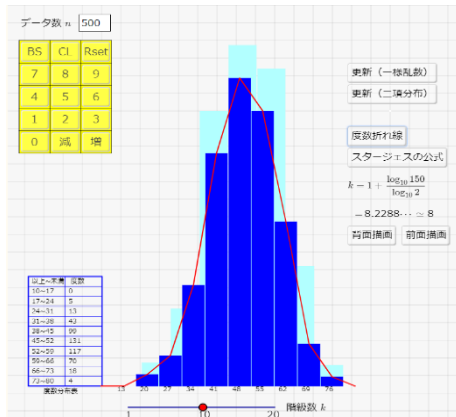


図 3：KeTCindyJS による HTML ファイル

3. 教材例

KeTCindyJS を用いて作成した防災・減災教育用教材の一例を示す。

3. 1 地震発生確率

気象庁の Web サイト ([8]) には、今後 30 年以内に南海トラフ沿いの大規模地震が発生する確率は 70~80%程度との記載がある。この数字の根拠がわかる教材を作成した。

地震の活動間隔を表す分布として、BPT 分布、対数正規分布、ガンマ分布、ワイブル分布、二重指数分布などが考えられているが、このうち、ガンマ分布は計算量が多くなることなどから今回の教材からは除外した。

地震調査委員会による地震発生確率の計算には、BPT 分布が採用されている ([9])。BPT 分布の確率密度関数は、

$$f(t; \mu, \alpha) = \sqrt{\frac{\mu}{2\pi\alpha^2 t^3}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\mu\alpha^2 t}}$$

で与えられる。ここで、 t は時間変数で、本教材では単位を年として扱う。また、 μ と α は、それぞれ地震の発生間隔の平均と分散を表す。これら 2 つのパラメータと、期間 τ を入力することで、経過年数 t に対する地震発生確率 p のグラフを表示する。 p は、

$$p(0 \leq t \leq \tau) = \frac{\int_0^\tau f(t) dt}{\int_0^\infty f(t) dt}$$

として求めるが、積分の計算は、区分求積法により数値計算している。他の分布に基づくグラフは、それぞれのボタンで切り替えが可能である。

地震調査委員会で採用している数値として、例えば、平均 μ を 88.2、分散 α を 0.24、期間 τ を 30 と入力し、実行すると、今後 30 年以内に南海トラフ巨大地震の発生する確率を示すグラフが表示され、2023 年は 75%程度との結果を確認することができる(図4)。

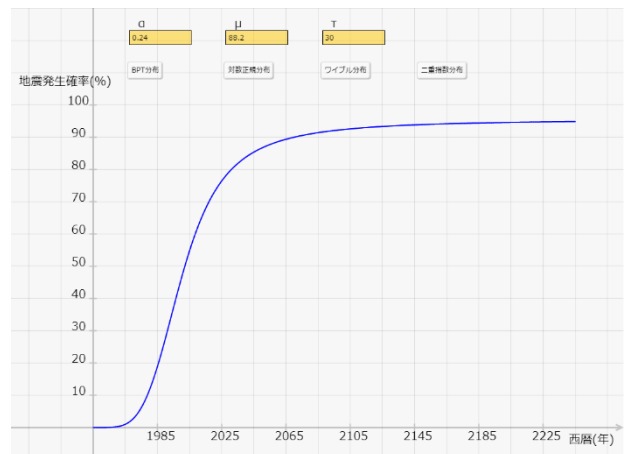


図 4：地震発生確率

3. 2 SIR モデル

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の流行を受け、微分方程式で記述される感染症の数理モデルが注目された。インフルエンザの流行予測にも用いられているこれら数理モデルのうち、最も簡単な SIR モデルは次の通りである。

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta S(t)I(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta S(t)I(t) - \gamma I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) \end{cases}$$

ここで、 t は時間変数で、 S は未感染者数、 I は感染者数、 R は回復者数を表し、 β は回復率、 γ は回復率と呼ばれるパラメータである。

SIR モデルは非線形微分方程式であるため、そのシミュレーションには、差分化した次の離散 SIR モデルで数値計算を行うこととした。

$$\begin{cases} S_{n+1} = S_n - \beta S_n I_n \\ I_{n+1} = I_n + \beta S_n I_n - \gamma I_n \\ R_{n+1} = R_n + \gamma I_n \end{cases}$$

教材としては、これら S, I, R の各漸化式について、 n を日数とみなし、総人口 $N = S_0 + I_0 + R_0$ 、初期感染者数 I_0 、初期回復者数 R_0 の 3 つの値の他、感染率 β と回復率 γ の 2 つのパラメータを入力することで、未感染者数（緑線）、感染者数（赤線）、回復者数（青線）の変化を表す 3 つのグラフを表示する（図 5）。感染者数が指数関数的に増加した後、収束していく様子がわかる。未感染者数には限りがあるため、ある時から新規感染者数が減り始め、流行は収束へと向かい、最終的には新規の感染者が現れなくなる様子がみとれる。

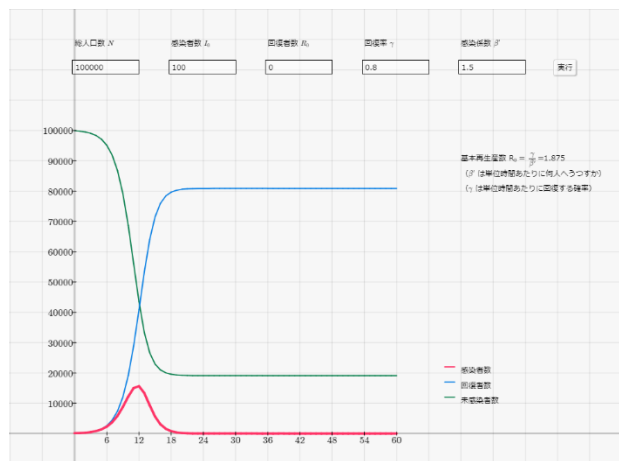


図 5 : SIR モデル

3. 3 津波の速さ

水深 h (m) における津波の速さは、時速 V (km/h) として、

$$V = 3.6\sqrt{9.8h}$$

で与えられる。

対応する教材は、上記の関数を描画するとともに、水深 h の値をスライダーで変化させることで、その水深における津波の速さを表示する他、いくつかの湾の最大水深地点における津波の速さを、ボタンを押すことで表示できる（図 6）。

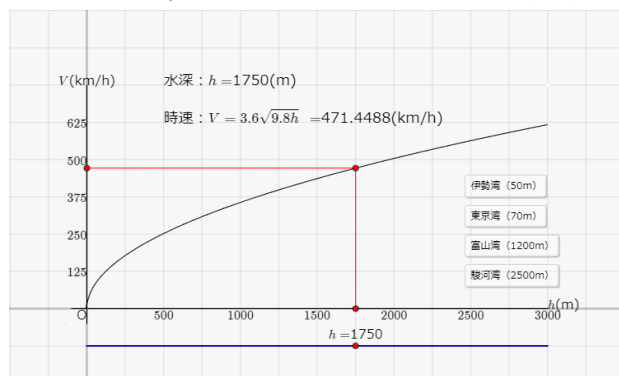


図 6 : 津波の速さ

3. 4 津波の高さ

ある沖合での津波の高さを H_1 (m)、水深を h_1 (m) とし、沿岸付近の津波の高さを H_0 (m)、水深を h_0 (m) とするとき、

$$\frac{H_1}{H_0} = \sqrt[4]{\frac{h_0}{h_1}}$$

が成り立つ。気象庁では、この式において $h_0 = 1$ とし、沿岸での津波の高さ H_0 を

$$H_0 = \sqrt[4]{h_1} \times H_1$$

としている。また、三陸沿岸のようなリアス式海岸など、湾の平面形状が V 字型になっているところでは、津波が湾内に侵入して湾の幅が狭くなるとエネルギー集中が生じて波高は急激に増大するため、それらを考慮して、 b_1 を湾口の幅、 b_0 を湾奥の幅としたとき、

$$\frac{H_1}{H_0} = \sqrt[4]{\frac{h_0}{h_1}} \times \sqrt{\frac{b_0}{b_1}}$$

が成り立つことが知られている。

KeTCindyJS は、図やグラフなどの幾何 HTML 教材の作成を得意とするが、数値計算もできるため、入力窓に入力した数値から式の値を計算し、その結果を表示する HTML 教材の作成も可能である。

例えば、水深 29m 地点（気仙沼湾の最大水深）で、高さ 2m の津波が観測された場合、通常の海岸線では高さ 4.6m の津波が到達すると予測できるが、気仙沼湾は、湾口の幅 2,600m、湾奥の幅 100m の V 字形状であるため、これらを考慮すると、高さ 23.6m の津波が到達すると予測できる（図 7）。

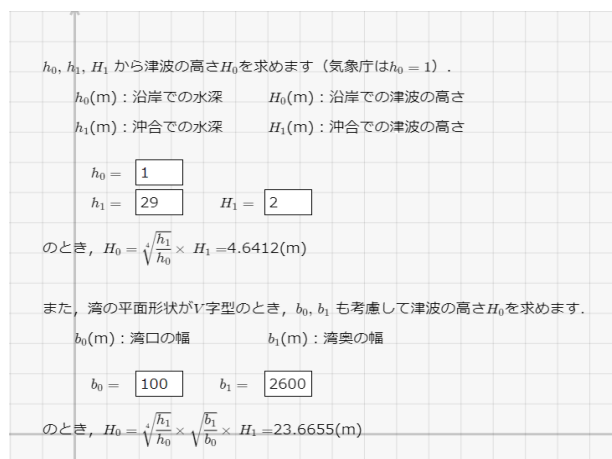


図 7 : 津波の高さ

4. HTML教材を用いた実践

作成した教材を用いて、今年度、一般向けと中学生向けの 2 つの講座を実践した。定量的な指標を定めていないため、教材の効果測定までには至らないが、KeTCindyJS を用いて

作成した HTML 教材の防災・減災教育分野における教育実践例として示す。

4. 1 公開講座

9月24日(日)、本校の多目的教室にて、前述3.2の SIR モデルの HTML 教材を用いて、一般向けの公開講座「感染症の数理 II」を実施した。受講者は40歳代から70歳代までの8名であり、うち6名は、昨年度(2022年度)実施した「感染症の数理」を受講していたため、実施後のアンケートでは、教材に関するコメントをいただくことができた。付言すると、「感染症の数理」では、離散 SIR モデルのシミュレーションを Excel (図8) および R (図9) を用いて実施したため、Excel ではセルに入力する式や表を作ること、R ではスクリプト(8行)を書くことに多くの時間が取られたという背景がある。教材に関するコメントを次の通りである。

- ・パソコンは苦手だが、数値を入力するだけでグラフの変化が見られ、最後までついていくことができた。
- ・昨年はソフトの立ち上げと入力が主になっていたが、今年のソフトは使いやすく内容の深堀ができた。
- ・データサイエンス分野に興味があり、Python, R はよく見かけるが、KeTCindyJS は初で、別途受講したい。

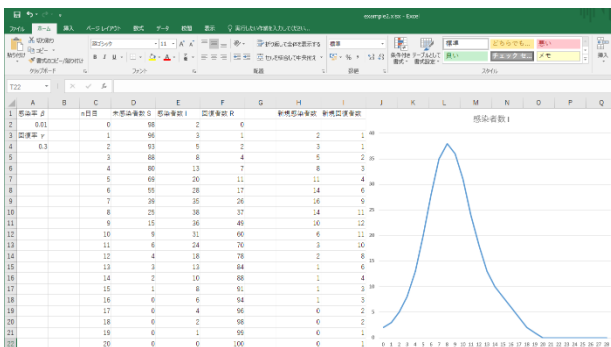


図 8 : Excel による SIR モデルのシミュレーション

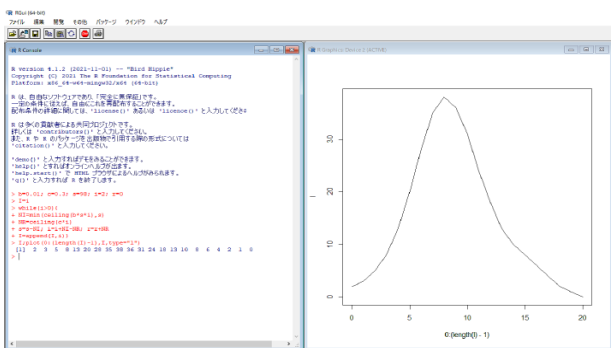


図 9 : R による SIR モデルのシミュレーション

4. 2 体験授業

10月15日(日)、本校の多目的演習室にて、前述3.3の津波の速さおよび3.4の津波の高さを求めることができる

HTML 教材を用いて、中学生向けの体験授業「数学で防災教育」を実施した。受講者は中学生9名と、その保護者6名である。参加者の教材に関するコメントを一部紹介する。

- ・難しい計算ができた数学と防災を関連付けた教材に興味があった。
- ・津波の速度に関して、スライダーを動かすだけで水深が深くなると速くなることが分かりやすかった。

5. おわりに

KeTCindyJS は、Web 上で動作する他の類似システムと異なり、作図をプログラムで制御できるという特性上、アイデアとプログラミングスキル次第で、様々な分野においてインタラクティブな教材を作成できる可能性を持つといえる。本小文では、その一例として、防災・減災教育用の教材に応用する手法について示したに過ぎない。今後は、数学や防災・減災教育用の教材作成とそれらを活用した実践を継続して実施するとともに、筆者が関連付けられる物理や数理・データサイエンスなどの自然科学教育分野においても具体的な教材作成を行い、それらをまとめた Web ページを整備し、充実したオンライン教材を提供していきたい。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 鈴木正樹, 中野友暉, 古田皓晟, 高津朗真, 原賀紫織: 数学を用いた防災用教材の開発, 沼津工業高等専門学校研究報告集, 第54号, (2020), pp.83-86.
- [3] 鈴木正樹, 中野友暉, 古田皓晟, 高津朗真, 原賀紫織: 数学を用いた防災教育の社会実装に向けて, 沼津工業高等専門学校研究報告集, 第56号, (2022), pp.63-66.
- [4] 西浦治, 高遠節夫, 臼井邦人, 鈴木正樹: 実験授業におけるKeTCindyの効果的利用, 城西大学数学科数学教育紀要, 第2巻, (2021), pp.42-48.
- [5] 山下哲: KeTCindyによる数学教材作成, 城西大学数学科数学教育紀要, 第4巻, (2023), pp.3-8.
- [6] 高遠節夫: KeTCindyの開発について, 数理解析研究所講究録, 第1978巻, (2015), pp.173-182.
- [7] 高遠節夫: KeTCindyJSの開発と教育利用, 数理解析研究所講究録, 第2142巻, (2019), pp.123-132.
- [8] 気象庁地震火山部, 防災情報: 南海トラフ地震に関する情報, 2023年(令和5年)11月8日.
- [9] 地震調査研究推進本部 地震調査委員会: 長期的な地震発生確率の評価手法について, 2001年6月.