

# 河川教育で育むシステム思考

岡山大学教育学部特任教授（研究）  
喜多 雅一

1

## これまでの科研費による研究

|                       |  |
|-----------------------|--|
| 2024_04_01-2028_03_30 | 理科教育における防災教育の実践的研究（分担）                     |
| 2024_04_01-2027_03_30 | Earth4Allモデルを活用した分離融合型課題研究開発               |
| 2021_04_01-2024_03_31 | ポストコロナにおけるシステム思考と責任ある研究による化学教育             |
| 2018_04_01-2023_03_31 | ネパールにおけるアクションリサーチ型山間地防災教育に関する研究（分担）        |
| 2016_04_01-2019_03_31 | 日本をモデルとする学習者中心の授業開発と指導仮説                   |
| 2008_04_01-2011_03_31 | 日本・アジア・アフリカの学校の連携による自然環境教育ネットワークの形成        |
| 2006_04_01-2007_03_31 | 日本・アジア・アフリカの学校の連携による環境教育発信拠点の構築に関する研究      |
| 2004_04_01-2005_03_31 | 日本・アジア・アフリカの学校の連携による自然環境に関する研究             |
| 2001_04_01-2001_03_31 | 空気・水・土・くらしを主題とする総合的な学習の時間のカリキュラムに関する研究（分担） |

2

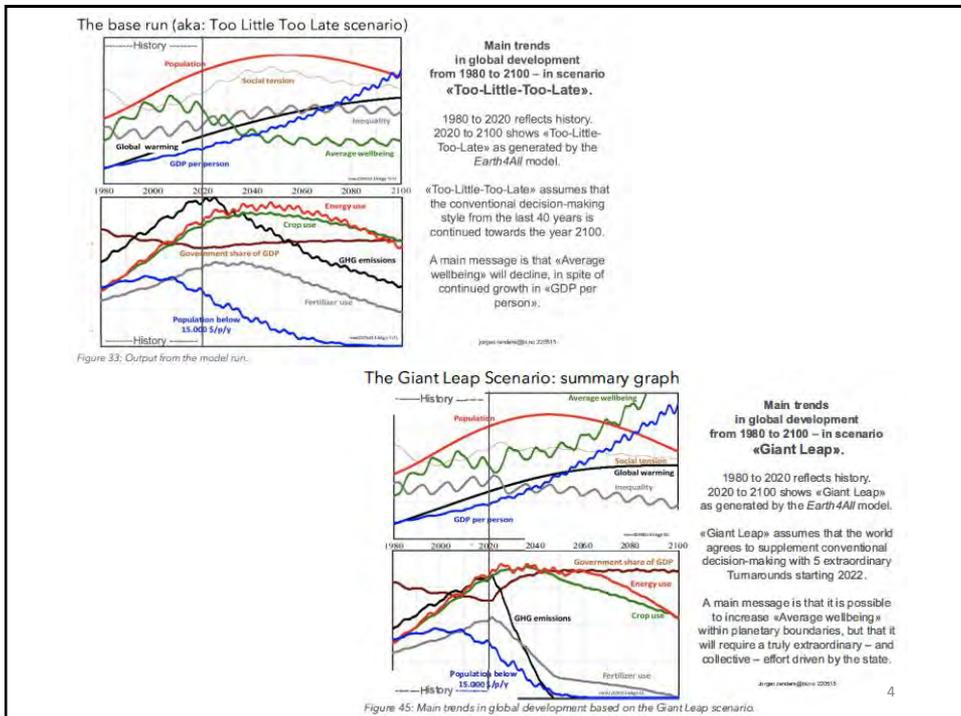
# システム思考 Systems Thinking

なぜ今、システム思考？何が期待されているか？

## 歴史

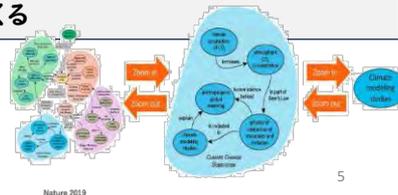
- 一般システム理論 (1945年)
- システムダイナミクス (1956年)
  - ストック, フロー, 変数, フィードバック, 因果ループ図, システム原型
- World3モデル (1972年)
  - 「成長の限界」 (ドネラ・H・メドウズ)
  - これまでの社会経済, 環境問題, 人口問題, 食糧問題その他の再現と次の100年の予想
- システム思考 (1990年)
  - 「学習する組織」 (ピーター・M・センゲ)
  - システムダイナミクスの定性モデル
- Earth4Allモデル (2022年)
  - 「万人のための地球」 (ローマクラブ)
  - Earth4Allモデルにwell-beingを変数として加え, これまでとこれからの100年を予想

3



## 問題解決のための分析と介入の方法 特徴

- 全体と要素の関係, 要素間関係を明らかにする  
(木と森の関係が見えるようになる=socio-environmental issues)
- 静的ではなく動的に捉え, 変化をモデル化する  
(システムダイナミクスモデル, モデルを用いて危機の予測)
- 介入の影響(効果)を予測し, 最適, 最良の結果を与える介入を研究  
(責任ある行動をとる=RRI)
- 取り戻したり立て直したりできる一連のフィードバックループ, リジリエンスを組み込める
- システムが自らの構造をより複雑にしていく自己組織化が起こる
- システムとサブシステムがヒエラルキーをつくる



5

## 幼児教育から高等教育, 理学, 工学の研究者養成や 技術開発者養成まで

### システム思考を基本的な能力として含むカリキュラム

- アメリカの次世代科学教育 (NGSS)
- オーストラリア (NSW) のK-8カリキュラム
- UNESCO Education 2030 (Systems Thinking Competency as Key competencies for sustainability) in 2017 ESD & SDGs
- UNESCO/International Organization for Chemical Sciences in Development (IUPAC project) 研究者養成
- OECD Education 2030/21<sup>st</sup> Century Skills

エージェンシー

6

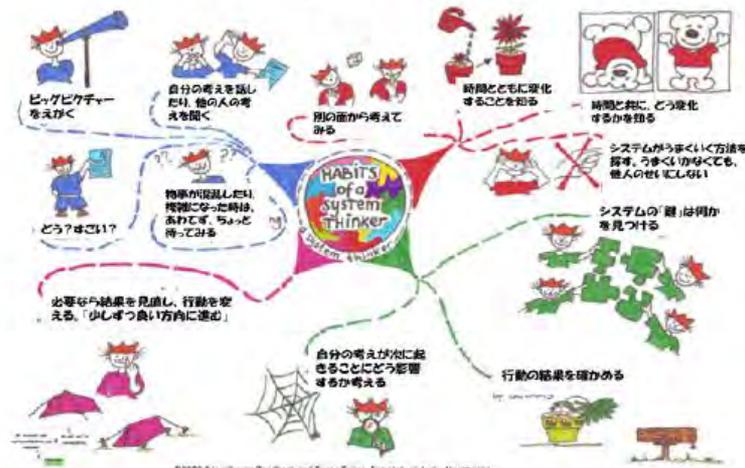
「学習する学校 School than learn」  
(ピーター・センゲ)

学校改革を目指す  
<5つのディシプリン>

- メンタルモデル
- システム思考
- チーム学習
- 共有ビジョン
- 自己マスタリー

河川教育で育むシステム思考(2)  
どんな資質・能力competenciesが必要なのか?  
オランダの小学校版「システム思考者の習慣」

オランダの小学校版「システム思考者の習慣」



## では、河川教育でのSystems Thinkingの能力規定は？

- 自然、人間社会（経済活動を含む）での河川の位置づけ
- 河川の周辺の動植物
  - 生態系エコシステム
- 小学校の水の循環とはたらき（削る・運ぶ・堆積する）の影響
- 河川の淵と瀬による自浄作用
  - 好気性微生物と嫌気性微生物による浄化 cf.) 15頁
- 魚付き林に代表されるフミン酸化鉄の移動
- 川は河口からの海風の通り道
  - 海塩移送
- 恵と災害
  - 魚、海老、海苔、水力発電と洪水

- 総合的な関係をシステムズに落とし、全体像を把握する。
- Zoom Outと個々の関係性をモデル化する。
- Zoom Inを通して、影響の大きさを定量化し、課題解決する。

## 河川教育で育むシステム思考（3）

- 小学生でもできるシステムダイナミックス
  - 出因果関係のシミュレーションを通して因果関係の強さを理解
  - ・小学校の水の働き（削る、運ぶ、堆積する）
  - ・河川の淵と瀬による自浄作用
  - ・魚付き林に代表されるフミン酸化鉄の移動
  - ・河口からの海風の通り道
- 自然・人間社会での河川の位置づけ
  - カードゲームによるシステム図
- 河川の周辺の動植物
- 恵みと災害

- 総合的な関係をシステムズに落とし、全体像を把握する。
- Zoom Outと個々の関係性をモデル化する。
- Zoom Inを通して、影響の大きさを定量化し、課題解決する。

## 実践例

日本理科教育学会中国支部大会 2021/12/18  
「システム志向の育成を目指した「水の循環」の学習」  
榊原保志・喜多雅一

既習事項を相互に関連的に結び付けて理解させる内容として、  
中学校2年生で学習する「水の循環」に注目する。



「ここでは、雨、雪などの降水現象に関連させて、水の循環については、太陽エネルギーによって引き起こされることにも触れる。」  
中学校学習指導要領解説理科編  
(平成29年7月)

### 【中学校2年小単元「水の循環」の 関連する既習事項】

- ・小学校において、物質の三態変化、水の自然蒸発と結露、雨の降り方と増水、雲と天気の変化などを学習し、中学校で霧や雲の発生を学ぶ。
- ・霧や雲のでき方を気圧、気温及び湿度の変化と関連付けて学んだ。その後注目した小単元では、地球上にある水は、液体、気体、固体と状態を変えながら、蒸発、凝結、降水、河川などの地表面の移動のプロセスを経て、水は地球上を循環することを総合的にとらえる内容である。

11

## カードゲームを用いた水循環の授業

今回開発した教材や授業が水の循環システム理解に役立ったのかの結果である。  
多くの生徒が今回開発した教材や授業が水の循環システム理解に役立ったと回答していた ( $p < 0.01$ )。

| そう思う | やや<br>そう思う | やや<br>そう思わない | そう思わない |
|------|------------|--------------|--------|
| 24   | 12         | 3            | 0      |



12

## 生徒の授業後の感想

授業のワークシートに書かれた感想の例を示す。  
生徒は重力によって水が流れることは気づいていたようであったが、Aさんによると低いところから高い所への移動については意外であったようだ。それを引き起こす原因として太陽エネルギーがあり、水の循環を引き起こしていることを理解している。  
Bさんによると今回の授業スタイルが仲間との共同学習により水循環の仕組みを考えるのに役に立っていることがわかる。

### <生徒Aの感想>

高い所から低い所へ水が行くのもあるが低い所から高い所への水の移動もありました。水が純化するために、一番必要なのは低い所から高い所への移動の原因となる太陽の熱であると思いました。太陽の熱があるから、雲から降ってきた雨が、ふり出しに戻るのだと思いました。

### <生徒Bの感想>

班の仲間と話し合いながら考え、頭を使った授業であった。

13

## 授業反省会で参観教師から出た意見

これまで一方的な教師の説明では、システムの機能を納得させにくかったが、A教諭からは、カードゲームを利用することで、システム要素である水が存在する場所間の関係性が検討できていたことを指摘された。  
B教諭の意見からは、生徒が理解できていたのかについては不明であるが、水循環のシステムについて理解しようと主体的に取り組んでいた姿を観察できたという指摘である。B教諭の意見では、水の移動が低いところから高いところに移動しているものがあることを指摘しにくいということだと思う。この点については、どのように教師が関わっていけばよいのかを検討する必要がある。最後のD教諭の指摘は、日本の子どもにとって氷河というものがなじみがないため、理解しにくかったのではないかというものである。このカードを削除するのか、あえて残すのか単元構成の仕方や生徒の発達段階によると思う。

### <教師Aの意見>

カードゲームを用いることで、カードを捨てる際グループの仲間と水の移動が可能であるのか検討する場面が生まれた。

### <教師Bの意見>

自ら思考して取り組むといった主体的な学習につながるという効果があった。

### <教師Cの意見>

水循環を図に表す中で、水の移動の動きに着目できる教師の支援の検討

### <教師Dの感想>

それぞれのカードの水の行方(氷河など)についての理解

# 河川モデルによる自浄作用の推定

河川の自浄作用に関する研究とその教材化, 科学と教育, 49,364-366 (2001)

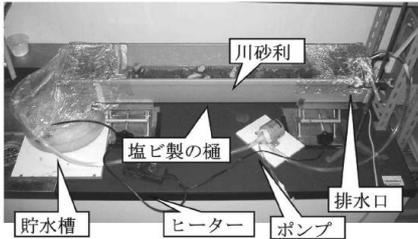


図2 河川モデルの概要

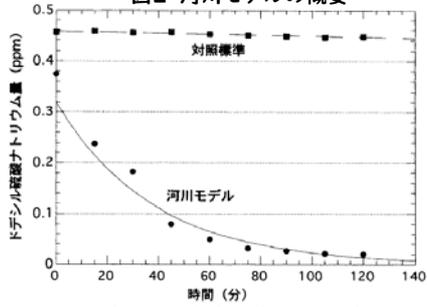


図3 河川モデルの浄化能 (ABS) 水温27度, Do7ppm.

