

# 水文環境シミュレーション

## 近藤昭彦

この題目を引き継ぎましたが、そのころは自分で考えて良さそうなので、こう考えました。「シミュレーションを活用するために必要な、“水文循環の素過程と人間活動との相互作用”」について話します。よりよい人間と水循環の関係性、すなわち水文環境のあり方について考えたいと思います。

水文環境を理解するためには、「シミュレーション」の“技術”と“考え方”について学んでおくことも必要でしょう。それは、コンピューターを使ったモデルの構築という一般的な捉え方をこえたものだと思います。楽しみにしてください。

# 違いを考えてみよう

- 報告書      既存の知識のまとめ
- 論文      考えた結果のまとめ
- 文学      感性

# シミュレーションとは？

現実に想定される場面のモデルをつくり出し、そのモデルによって種々の状況に応じた実験・分析を行うこと（明鏡国語辞典）



# モデルとは？

ある事象について、諸要素とそれら相互の関係を定式化して表したもの（デジタル大辞泉）

⇒数学的なもの（数値モデル）だけでなく、概念モデルも含む

数値モデル： コンピューター上での模擬実験ともいえる

概念モデル： 頭による思考実験 ←こっちでもよい！

⇒勝負前のアスリートを思い出そう！

# 数値（シミュレーション）モデルとは？

対象とする事象、現象を数式（偏微分方程式）で表し、コンピュータで数値的に解くためのコード（プログラム）

## 限界

- 事象の要因・メカニズムがすべてわかっているとは限らない
- 事象の発現する場の条件を捉えることが難しい
- すべてわかったとしても、精度を高めることは困難⇒発散
- 未来を予測しようとするると誤差が蓄積する
- なにより、事象を記載する観測データがないとはじまらない

環境分野はデスクトップ・サイエンスだけではなく、フィールド・サイエンスとの協働、共創が大切

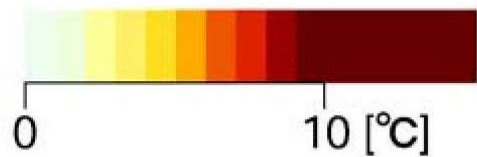
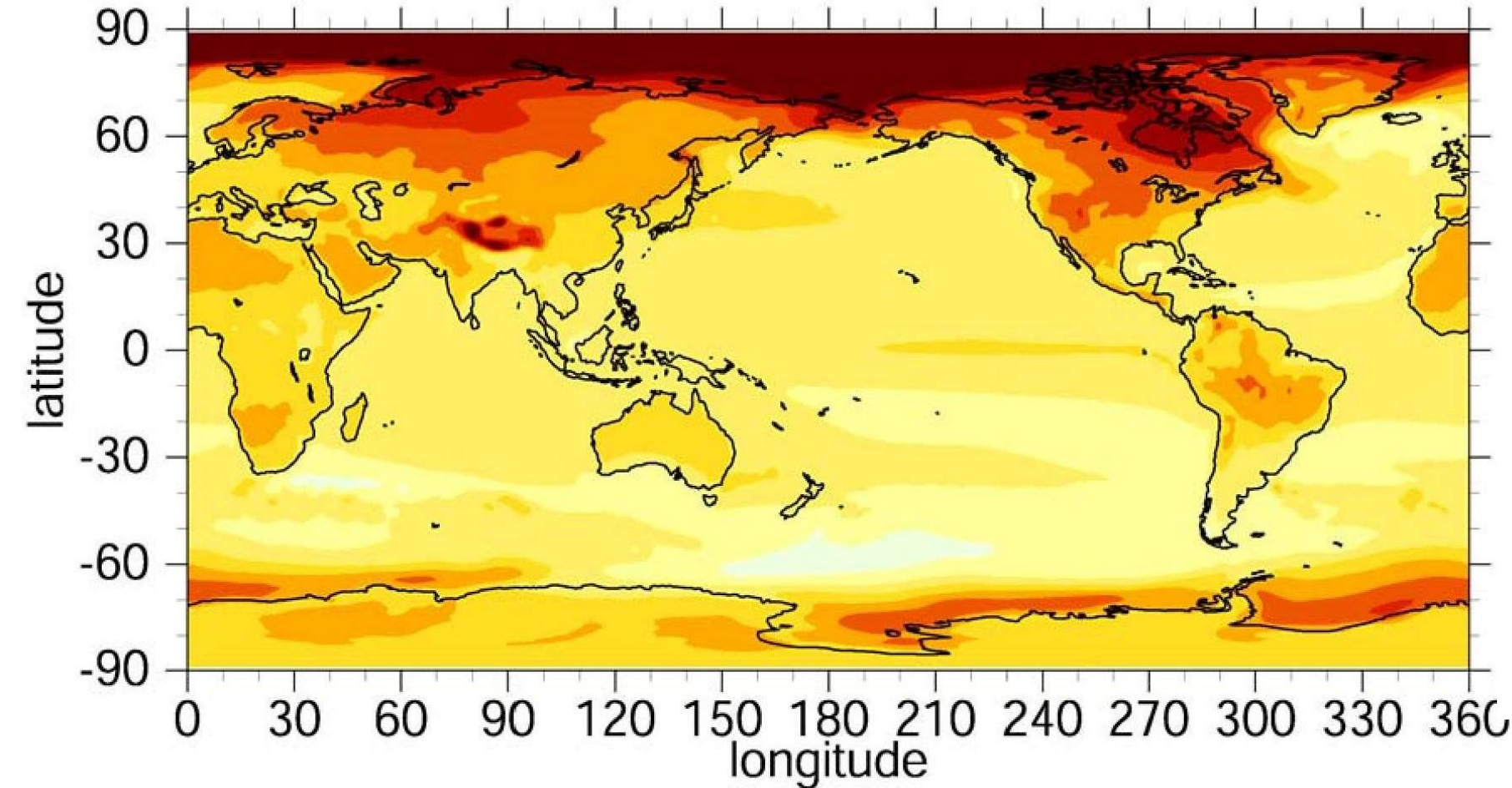
## 数値シミュレーションの例

地球シミュレータによる2100年までの世界の年平均気温上昇の分布

出典：環境省「地球シミュレータによる最新の地球温暖化予測計算が完了

－温暖化により日本の猛暑と豪雨は増加－」（PDF）

<http://www.env.go.jp/earth/earthsimulator/01.pdf>



地球システムの（一部）のモデル化

結果を単に受け入れるか、  
中身を知ろうとするか。  
二つの態度の違いは？

図1 計算された年平均地表気温上昇量の地理分布。シナリオ「A1B」の2071～2100年の平均気温から、1971～2000年の平均気温を引いたもの。

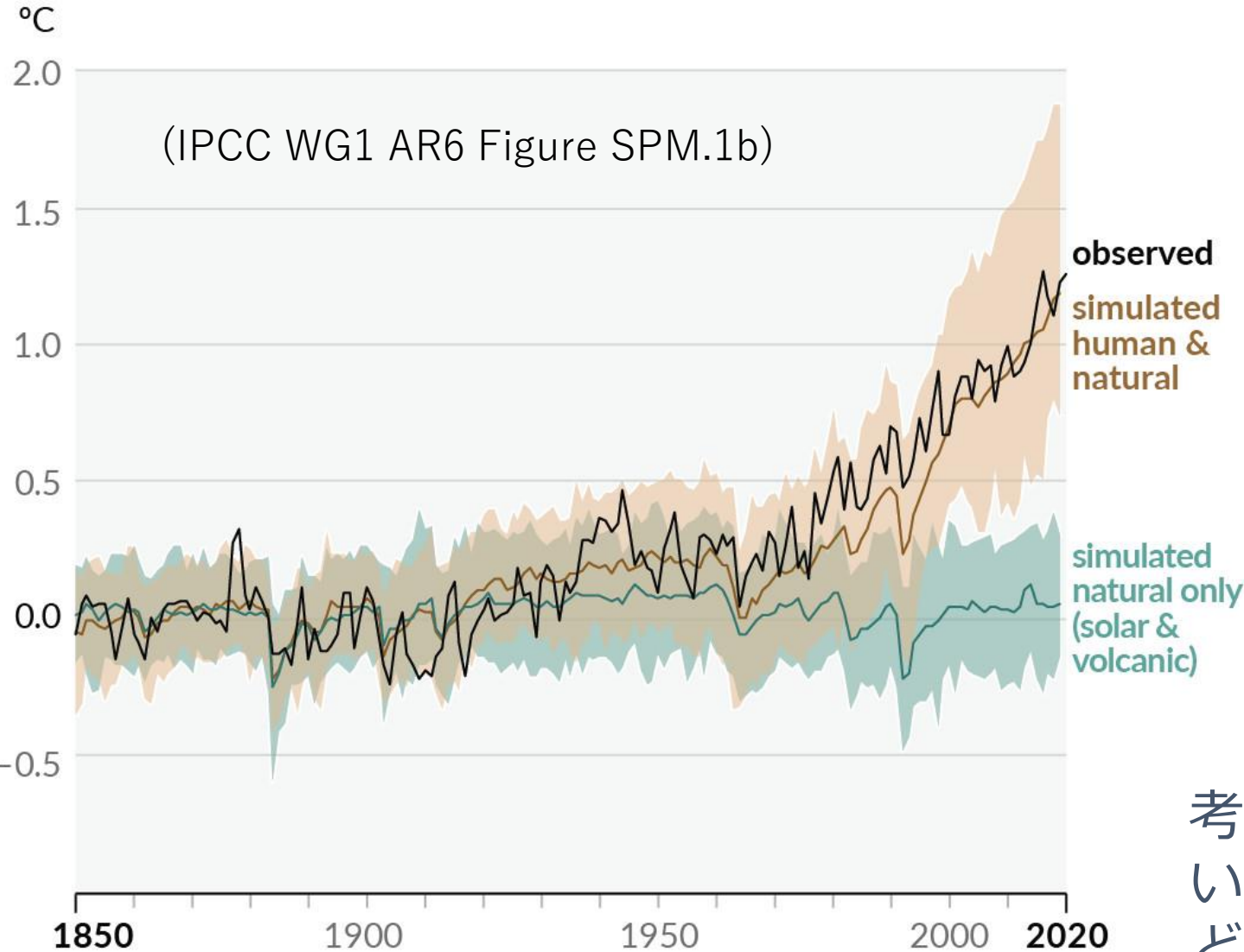
(SRESシナリオ)





# 複雑なモデルは、よいモデルだろうか？

(b) Change in global surface temperature (annual average) as **observed** and simulated using **human & natural** and **only natural** factors (both 1850–2020)



(学術の動向、2023.7)



IPCC のオペレーション・プロシージャ (手順、進め方) を、今、再検討する必要があると思います。

**安成** ▶ 全くそのとおりです。第6次報告が出ましたが、これに対してコミットした人たちに批判的なコメントも含めてどうすべきかという意見を今集めています。

**真鍋** ▶ 安成さんをお願いしたいのは、そのIPCCのプロシージャ (手順) をリ・イヴェアリュエイト (再検討) することです。今どんどん複雑になって、この結果がなぜ出たのか誰にも分からないような気候モデルが世界で何十もあります。この状態を再評価する時期が来ていると思います。

「. . . 。今どんどん複雑になって、この結果がなぜ出たのか誰にも分からないような気候モデルが世界で何十もあります. . . 」

考えてみよう：モデルはどう使われているのか。未来を展望するためのよりどころは？

# 気候変動の影響は地域ごとに顕れる。

- 地球温暖化が進行すると、モンゴルのステップ地域はどうなるだろう。
- 人間の暮らしにどんな影響があるだろうか。
- 離れた地域にも影響が及ぶのだろうか。

環境の複雑さをどれほど認識できるか  
⇒地理学的観点の重要性

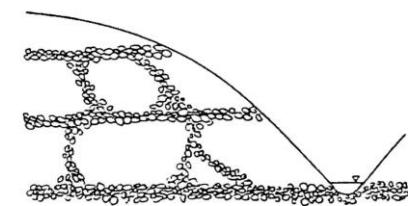




# 単純なモデル 現象の本質を再現することの重要性

## 菅原のタンクモデル

- ・ 降水量、蒸発散量を与えて、タンク内の貯留量から各孔からの流出量を計算
- ・ 降雨－流出現象の非線形な応答も再現でき、観測ハイドログラフを簡単な計算で良く再現できる
- ・ ブラックボックスモデルだが、流域内の貯留量が多ければ流出も多いという基本的な性質を具備



第2図 タンク・モデルに対応する地下水の多層構造の模式図

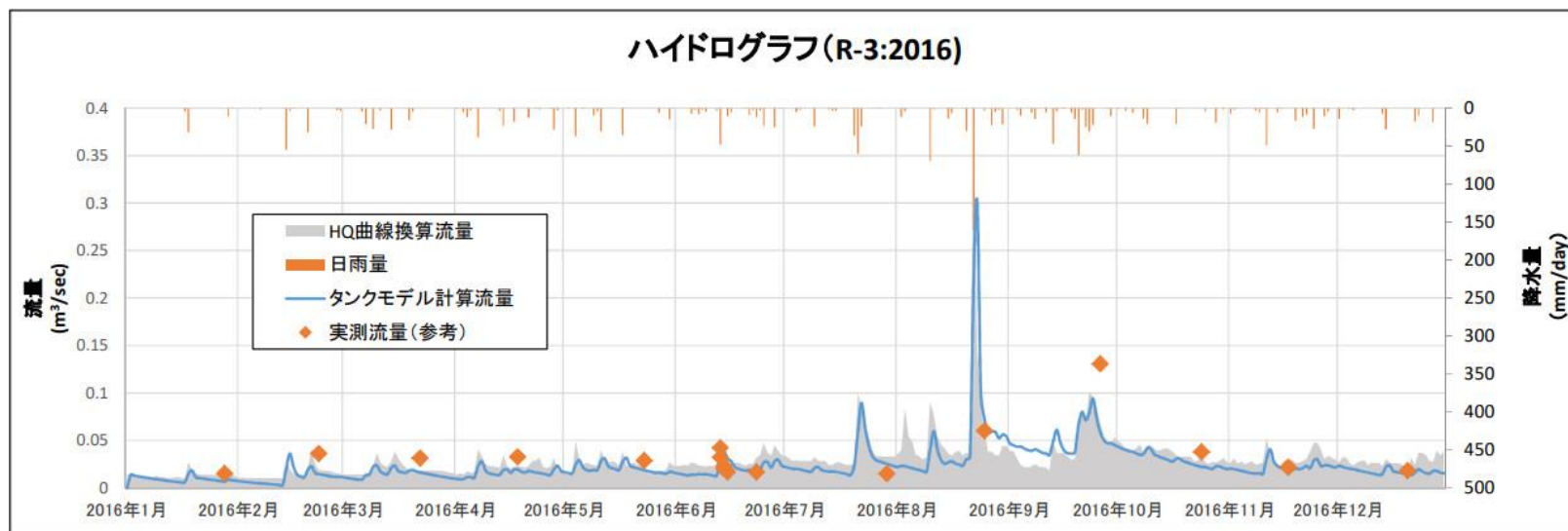
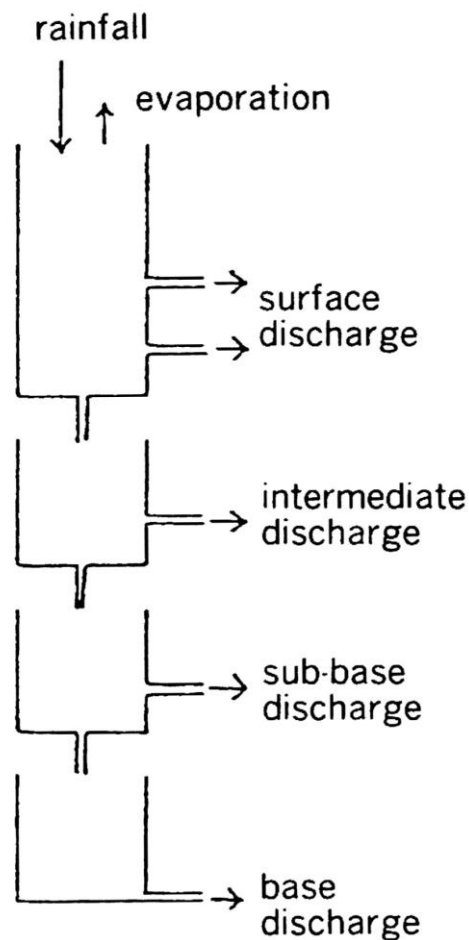
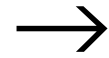


図-4 タンクモデル計算流量によるハイドログラフ例

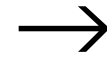


# ブラックボックスモデル

入力



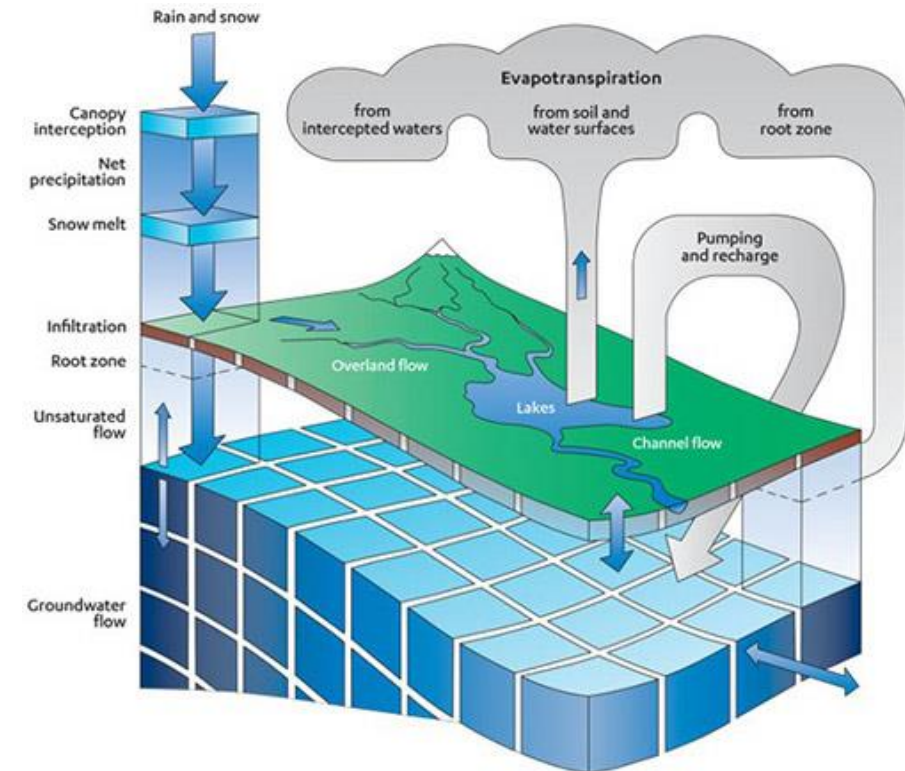
ブラックボックス



出力

物理モデル、分布型定数モデル

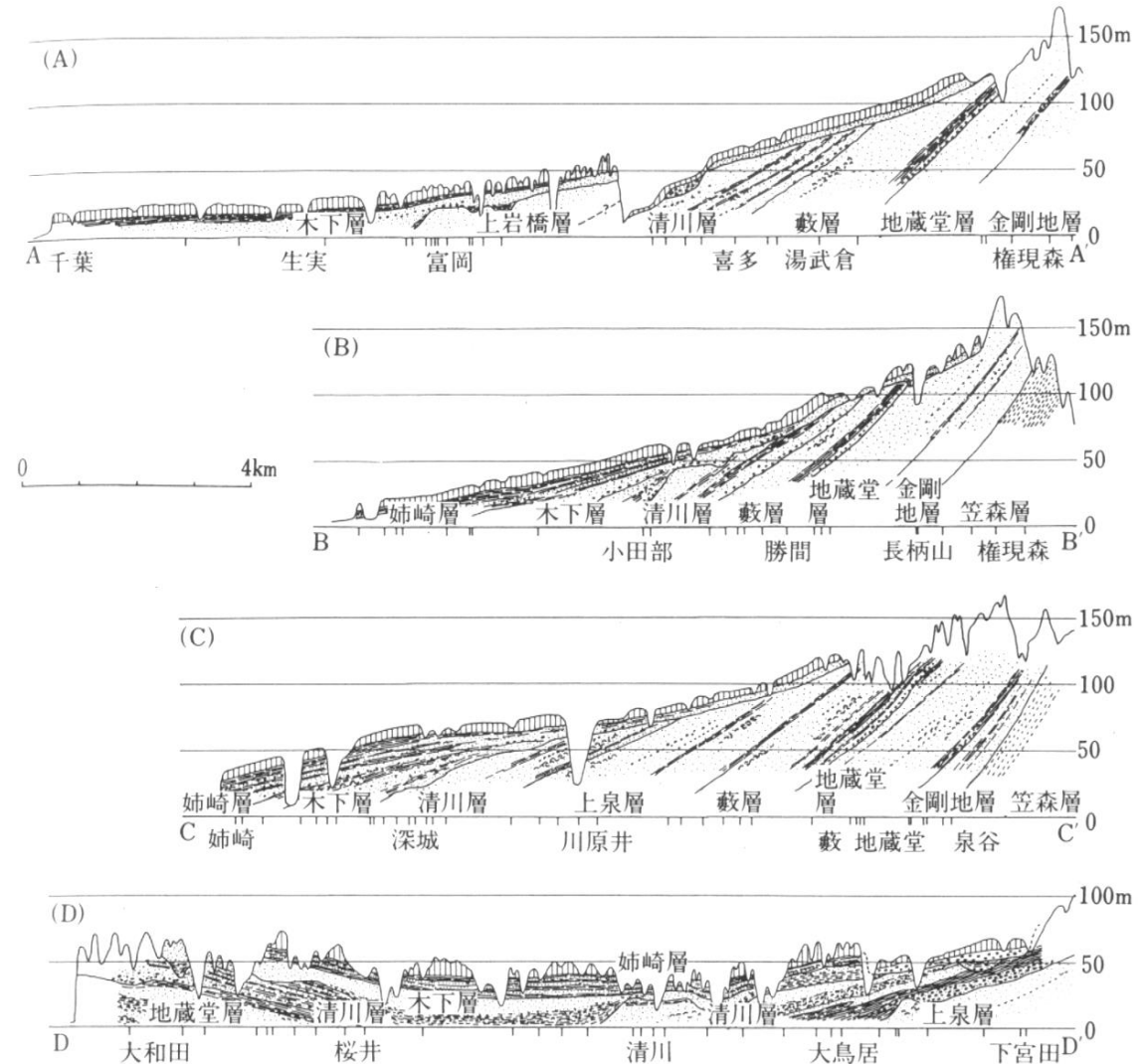
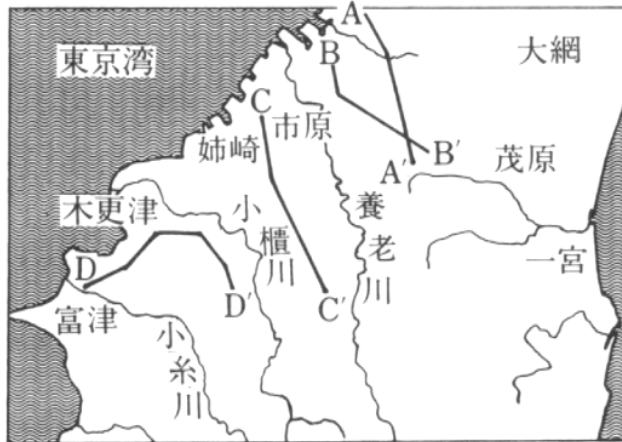
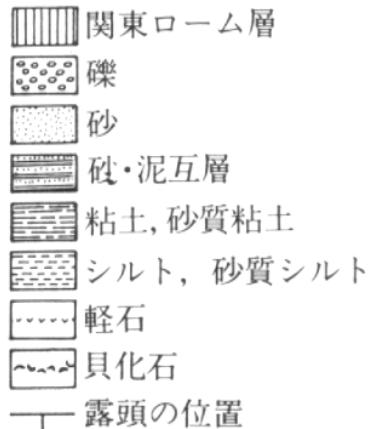
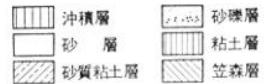
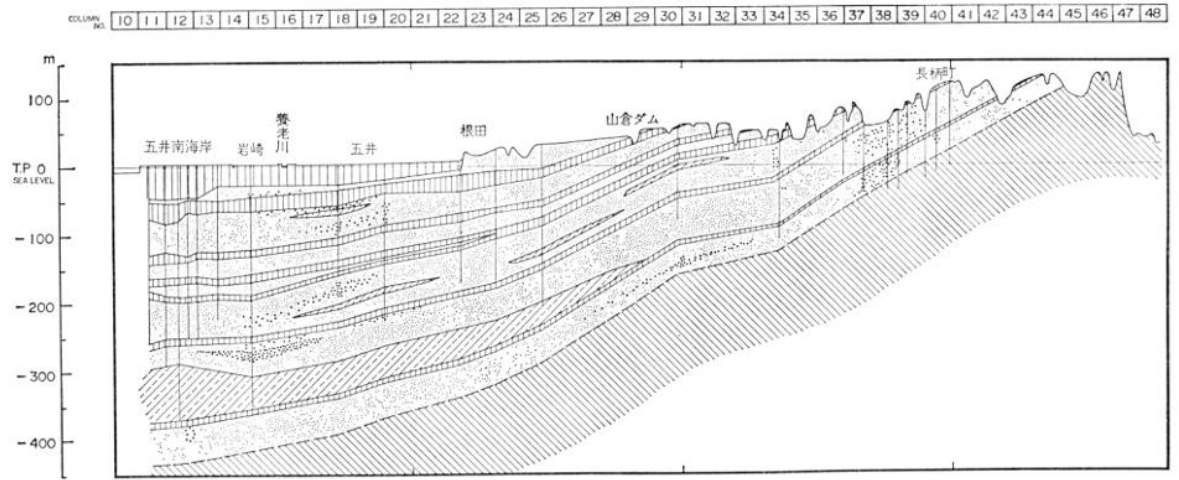
偏微分方程式の数値解  
境界条件、初期条件



MIKE-SHE水文モデル

# 分布型定数モデル(distributed parameter model)の例

- 地層の層序断面を砂層（帯水層）と泥層（難透水層）でモデル化
- 地質構造を透水係数の分布で表わす（境界条件）

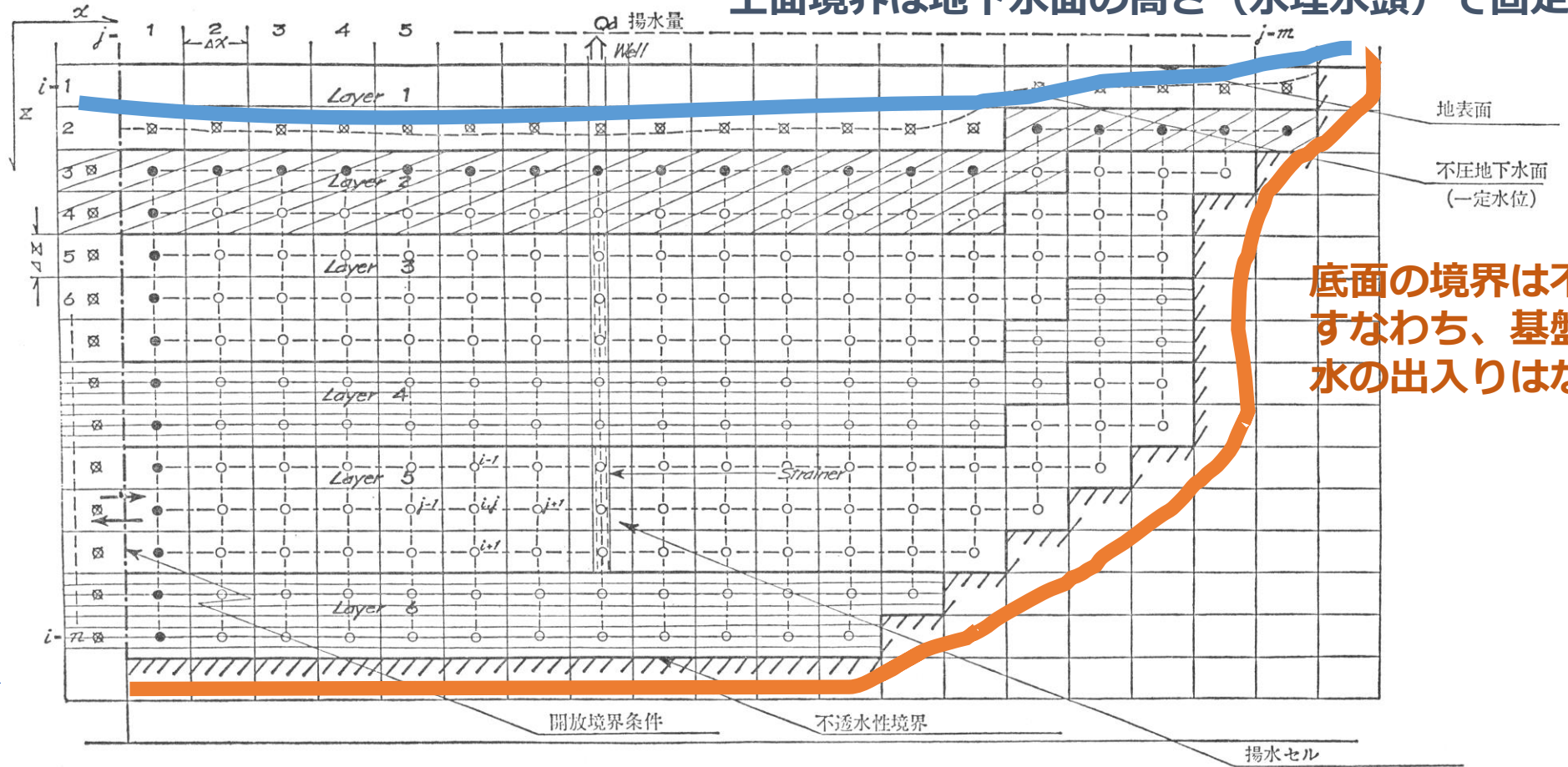


(菊地、1977)

# 前ページの地質構造はこのようにモデル化できる

上面境界は地下水面の高さ（水理水頭）で固定

側面境界はこの場合東京湾。反対側からみ水の流れがあるので、十分境界を東京湾側に延ばし、不透水性境界とする。



底面の境界は不透水境界。すなわち、基盤を通した水の出入りはない。

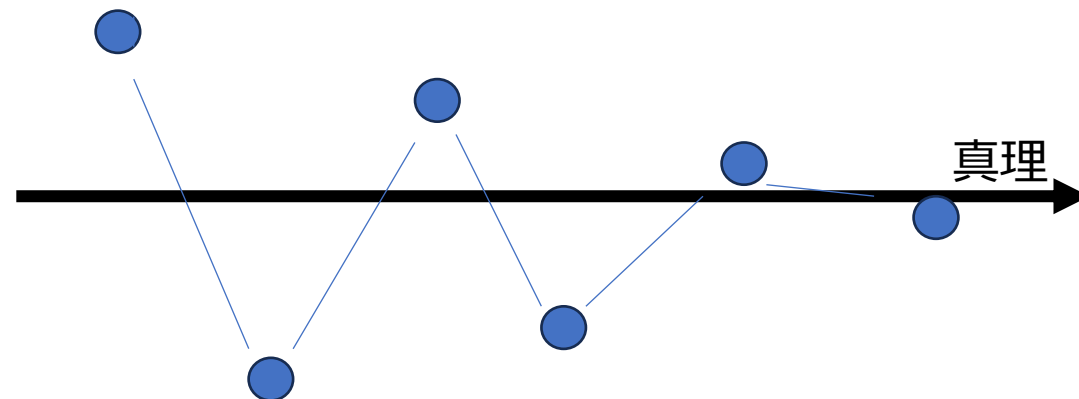
- 境界セル
- 内部セル
- ⊠ 一定水位境界条件
- ▨ 半透水性セル
- 帯水層セル

現実世界をモデル化する際に、シミュレーション実施者がどれだけ対象に対する専門性を持っているか、そこが鍵。

鎌田烈(1981)：垂直断面二次元多層帯水層系モデル概念図

# 科学的な思考に基づくシミュレーション

現象の本質を再現する構造を持ち、  
試行錯誤により真理に接近する  
複雑なほど良いとは限らない

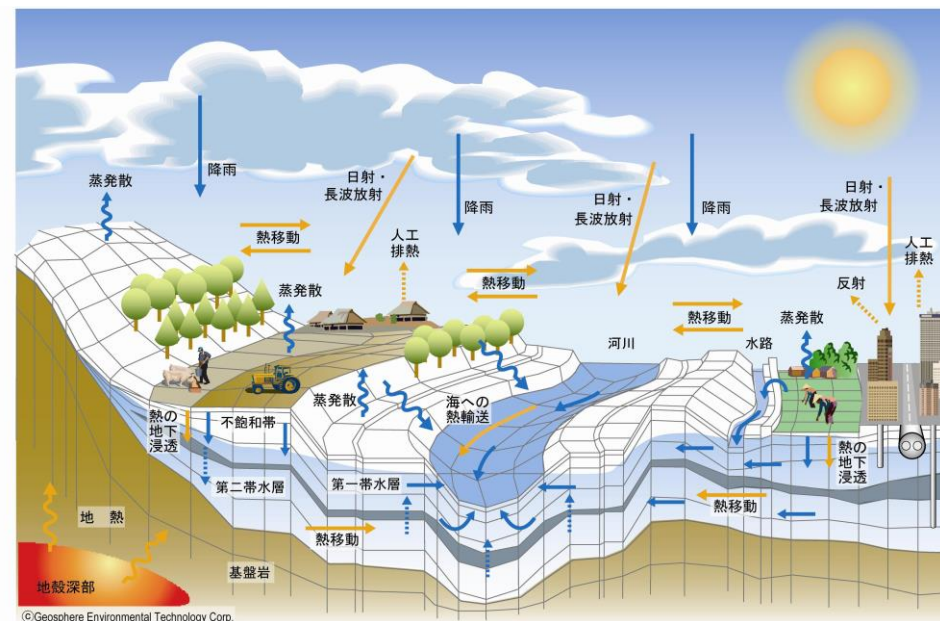


## シミュレーションの目的を理解しよう

### 意思決定のためのシミュレーション

事業における設計、環境アセスメント等  
において行政の意思決定に使用

現実に模倣したモデル構造  
繰り返し計算によりパラメータを決定  
観測データを再現  
クライアントの了解



複雑なモデルの例：Getflows(地圏テクノロジー)

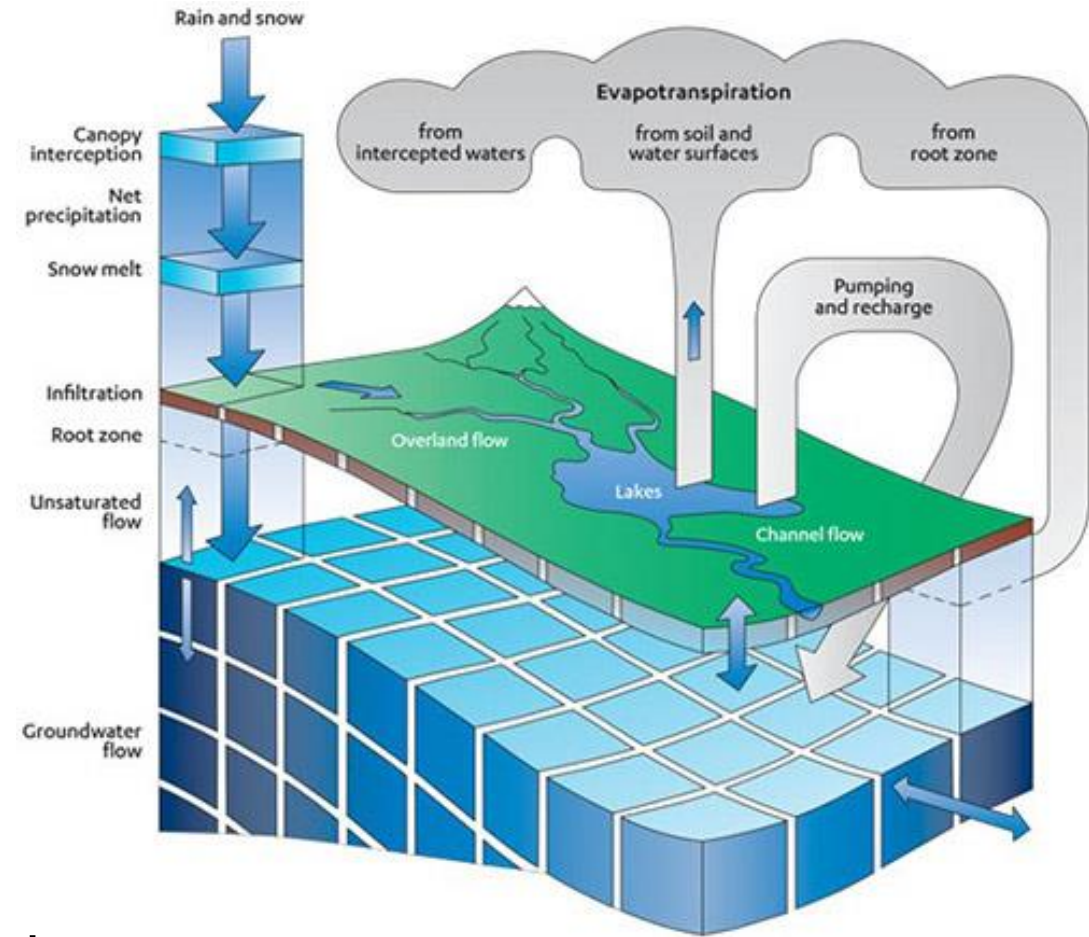


# 対象とする事象のメカニズムはすべてわかっているわけではない

- 気候変動
- 天気
- 放射性物質の拡散
- 地下水流動
- . . .

## モデルの出力は（ある程度）調整可能

- 事象をどの程度理解しているか
- 事象のメカニズムはすべて既知か
- 時間軸、空間軸の重要
- （環境問題における）人間的側面
- . . .



MIKE-SHE水文モデル

一見、複雑なように見えるが、どれだけ現実を認識しているだろうか？

そもそも、シミュレーションの目的は何か、誰が判断するのか？

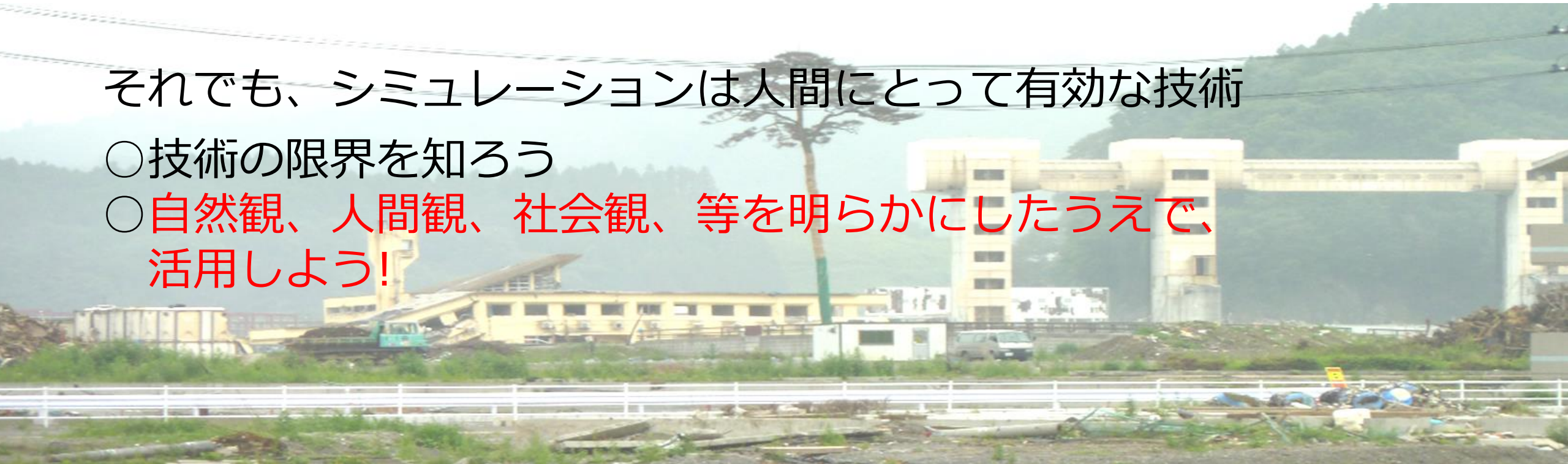
# パラメタリゼーション

本来は複雑な事象・現象を便宜的に簡単な近似式で扱うこと

- 現象の物理性がわかっていない
- 現象の時間スケール、空間スケールがモデルにフィットしない

それでも、シミュレーションは人間にとって有効な技術

- 技術の限界を知ろう
- 自然観、人間観、社会観、等を明らかにしたうえで、活用しよう!





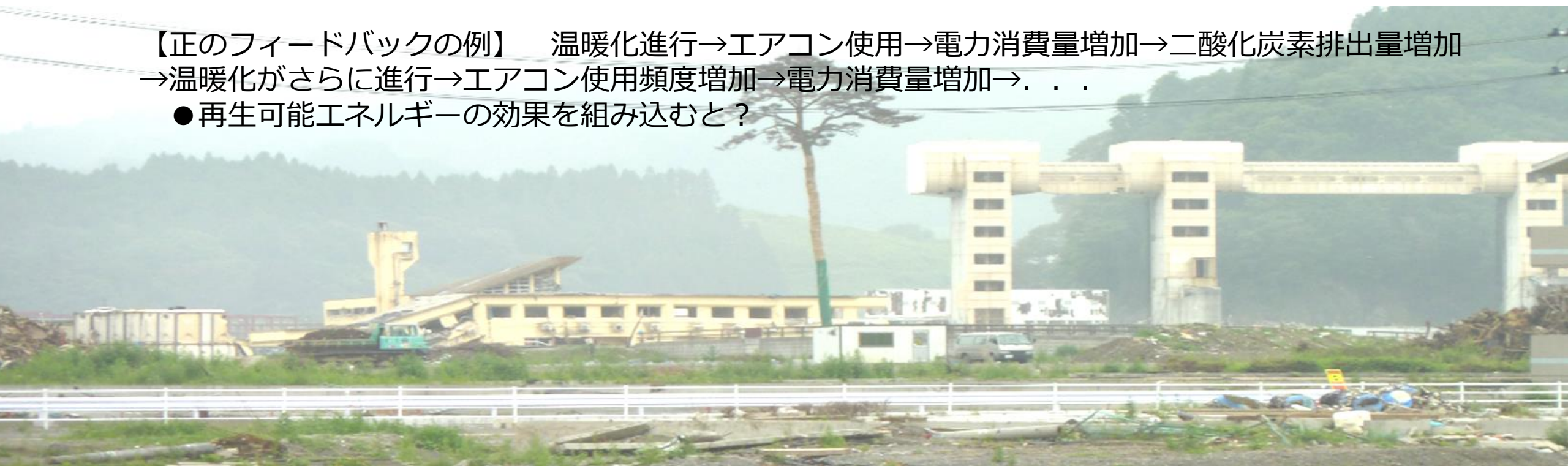
# 要チェック システム・ダイナミクス

システムダイナミクス (Systems dynamics) とは、複雑系の動的振舞を分析するための方法論の一つである。システム全体に影響を与える時間遅延や内部フィードバック・ループを研究対象とする。また、コンピュータシミュレーションを利用するため、非線形な関係を極度に単純化することなく扱うことができる。(Wikipedia)

- ・多数の因果関係、フィードバックの組み合わせをコンピューターで再現したもの
- ・「成長の限界」1972年出版で使われた手法

【正のフィードバックの例】 温暖化進行→エアコン使用→電力消費量増加→二酸化炭素排出量増加→温暖化がさらに進行→エアコン使用頻度増加→電力消費量増加→...

- 再生可能エネルギーの効果を組み込むと？



人間はわからないものに対しては妄想を抱きやすい。

わかってしまえば、そうでもなかったことがわかる。

シミュレーションに使われるか、使うか。

わかって、使おう！

