

地圏環境テクノロジー サービスラインアップのご案内

平成27年11月25日

 株式会社地圏環境テクノロジー
Geosphere Environmental Technology Corp.

本日の内容

1. GETFLOWS[®]の開発経緯
2. 統合型流域モデリング
3. サービスのラインアップ
4. 最近の適用例
5. 技術開発状況のご紹介

21世紀の水問題と解析評価技術

環境

- 河川水質事故
- 過剰揚水による地盤沈下や塩水侵入
- 湖沼の富栄養化
- 人工物による環境変化
- 鉱山廃水
- 温暖化・気候変動
- ヒートアイランド
- 生物多様性の低下

災害

- ゲリラ豪雨
- 洪水
- 氾濫
- 渇水
- 斜面崩壊・土石流
- 地すべり
- 津波
- 高潮

資源

- 水利用(生活・工業・農業)
- 浅層・深層熱エネルギー(地中熱・地熱)
- 森林バイオマス
- 海洋資源
- 沿岸域の淡水性地下水
- 地上・地下ダム
- 化石燃料

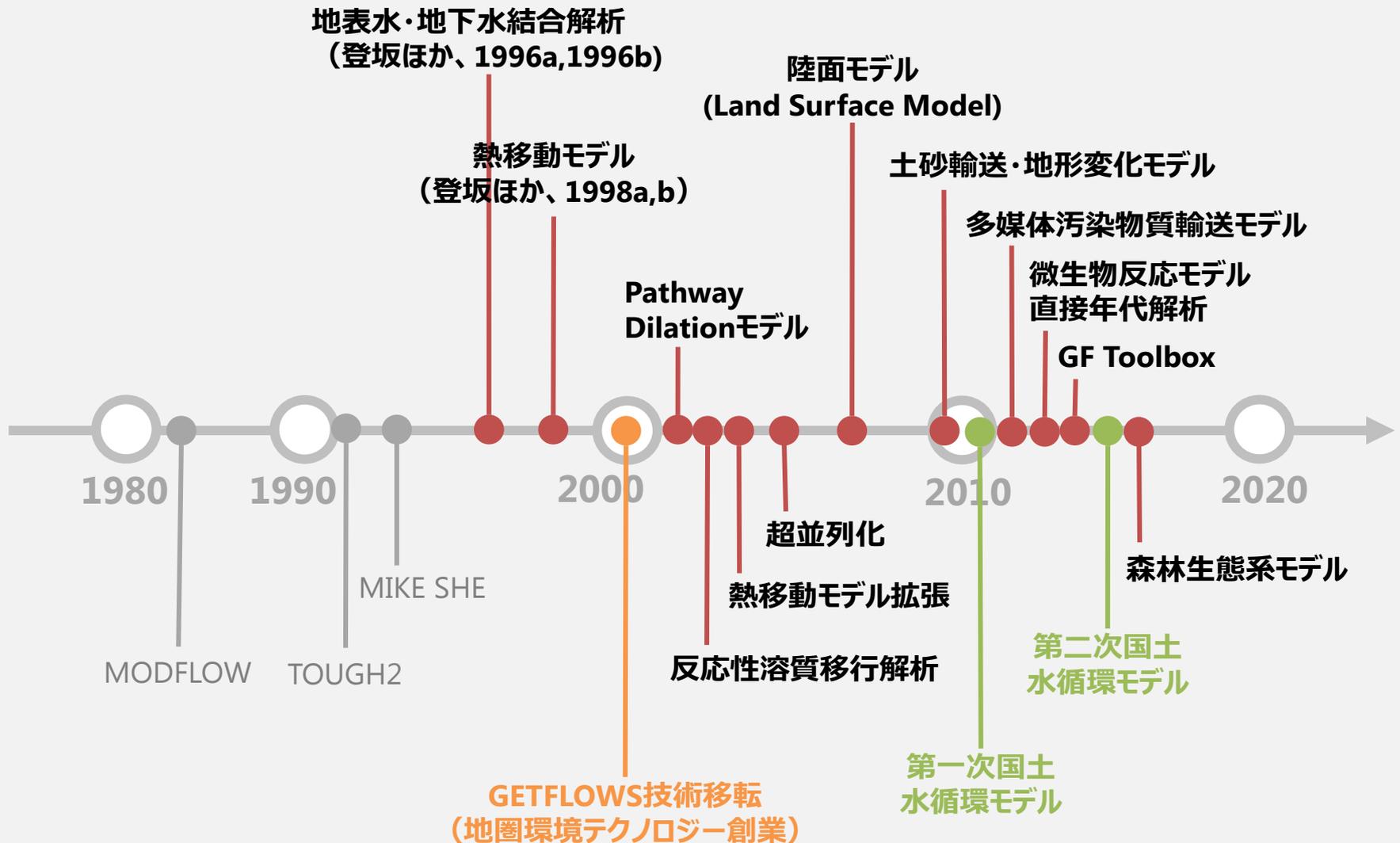
:

:

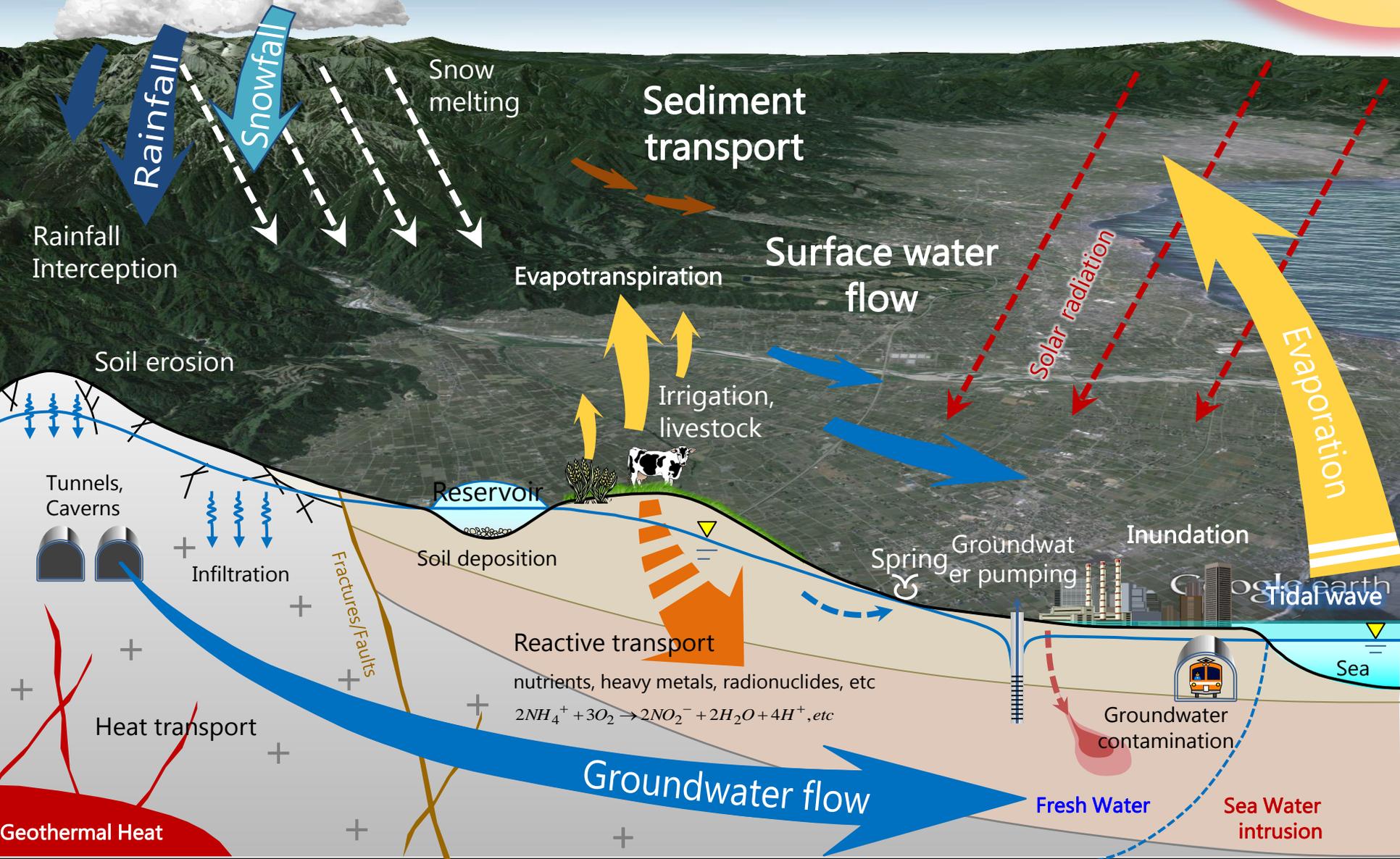


21世紀の水問題は地球温暖化、大規模自然災害等の特徴付けられ、水循環システムにおける環境、災害、資源の諸問題は相互に関係を及ぼし合うものである。⇒
対象システムで生じる様々な事象を取り扱うことができる解析技術によって適切な実態把握、変化の検知、将来予測、対策・効果検証ができないか？

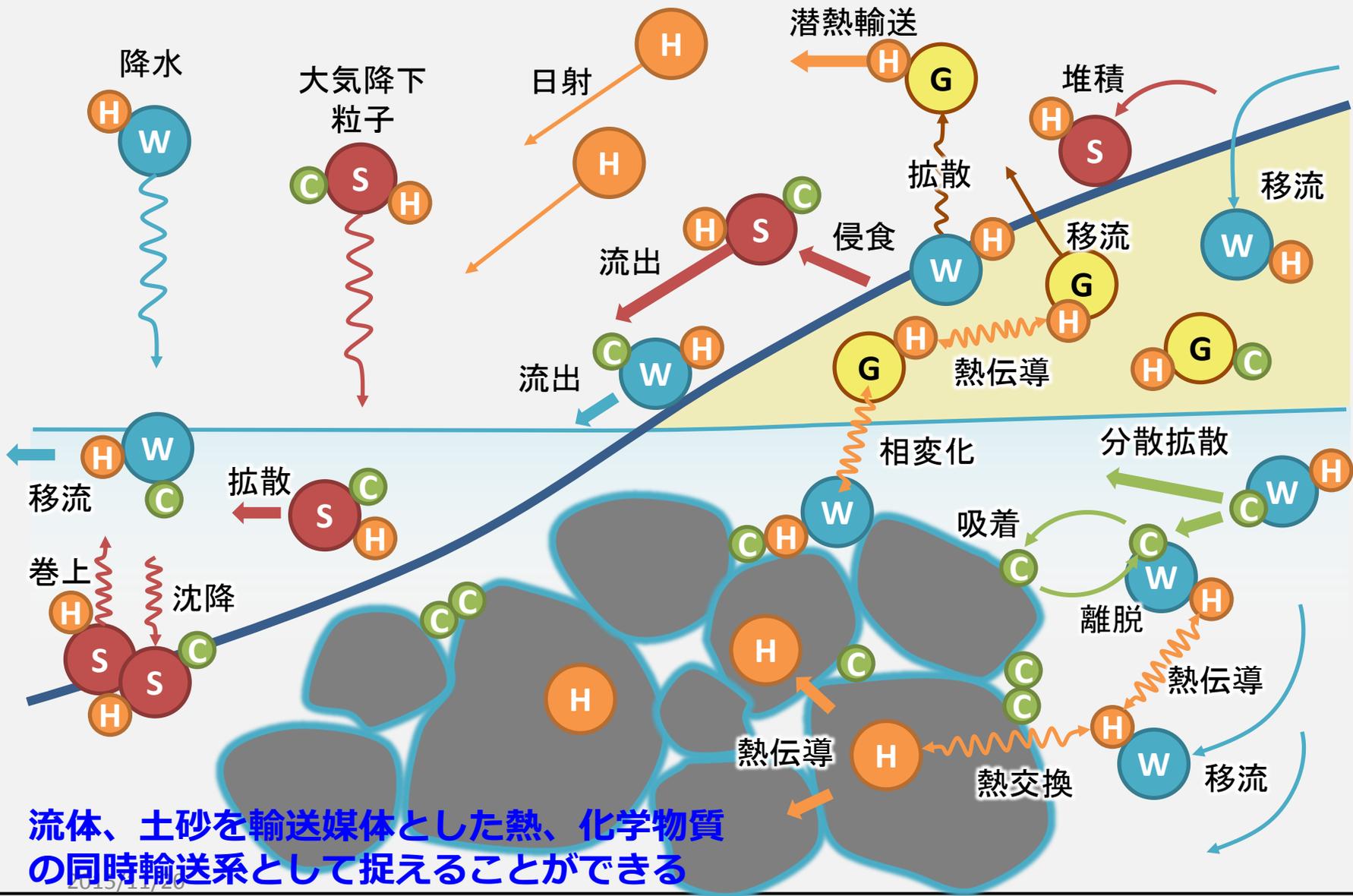
GETFLOWS[©]の開発経緯



山間地水源域から沿岸河口域までをつなぐ 統合型流域モデリング



流体・熱・化学物質・土砂系の概念



流体、土砂を輸送媒体とした熱、化学物質の同時輸送系として捉えることができる

多相流体 (Tosaka et al., 1996)

【地表水・地下水結合系の支配方程式】

$$-\nabla \cdot (\rho_p u_p) - \rho_p q_p = \frac{\partial}{\partial t} (\rho_p \phi S_p)$$

$(p = \text{water, air, NAPL})$

地上:

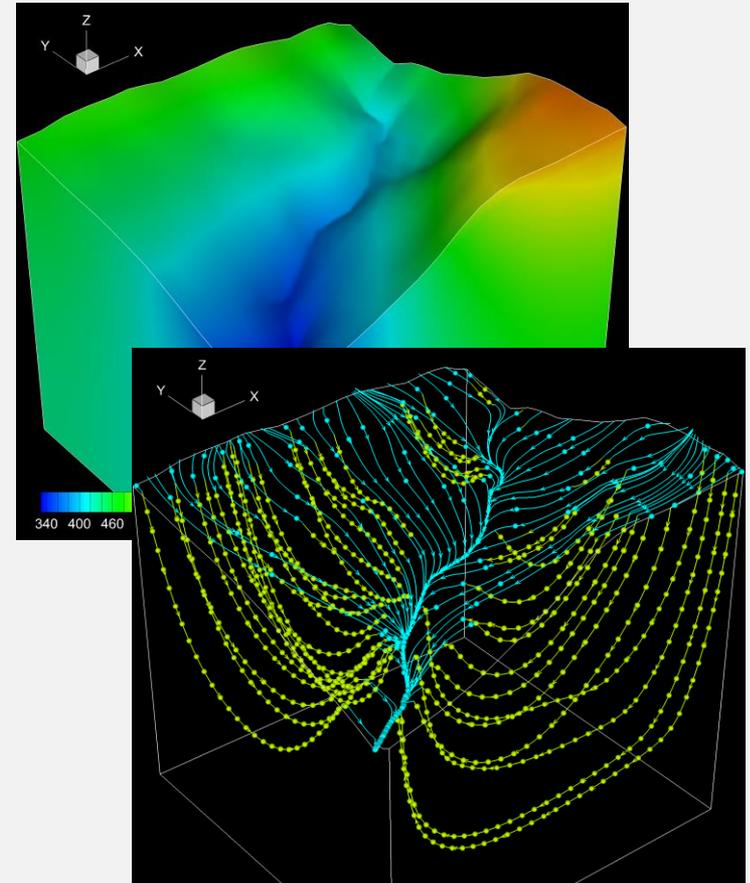
$$u_w = -\frac{R^{2/3}}{n_l} \sqrt{\left| \frac{\partial h}{\partial l} + \frac{\partial Z}{\partial l} \right|} \text{sgn} \left(\frac{\partial h}{\partial l} + \frac{\partial Z}{\partial l} \right)$$

$(l = x, y)$

$$u_a = -\frac{K k_{r,a}}{\mu_a} \nabla (P_a + \rho_a g Z)$$

地下:

$$u_p = -\frac{K k_{r,p}}{\mu_p} \nabla (P_p + \rho_p g Z)$$



地表水流動のマニング則を地下流体流動を記述する一般化ダルシー則と同形の流速公式により定式化することで両者を結合 (Tosaka et al., 1996)

土砂・粒子状物質

- 地表水を輸送媒体とした移動現象
- 異粒径粒子状物質(混合粒径)
- ウォッシュロード～浮遊砂～掃流砂
- 粘着性材料、非粘着性材料で異なる浸食・堆積機構
- 土石流、大規模な斜面崩壊等は含まない

表1.1.2 Creagerによる D_{20} と透水係数

D_{20} (mm)	k (cm/sec)	土質分類	D_{20} (mm)	k (cm/sec)	土質分類
0.005	3.00×10^{-6}	粗粒粘土	0.18	6.85×10^{-3}	微粒砂
			0.20	8.90×10^{-3}	
0.01	1.05×10^{-5}	細粒シルト	0.25	1.40×10^{-2}	
0.02	4.00×10^{-5}	粗粒シルト	0.3	2.20×10^{-2}	中粒砂
0.03	8.50×10^{-5}		0.35	3.20×10^{-2}	
0.04	1.75×10^{-4}		0.4	4.50×10^{-2}	
0.05	2.80×10^{-4}		0.45	5.80×10^{-2}	
			0.5	7.50×10^{-2}	
0.06	4.60×10^{-4}	極微粒砂	0.6	1.10×10^{-1}	粗粒砂
0.07	6.50×10^{-4}		0.7	1.6×10^{-1}	
0.08	9.00×10^{-4}		0.8	2.15×10^{-1}	
0.09	1.40×10^{-3}		0.9	2.8×10^{-1}	
0.10	1.75×10^{-3}		1.0	3.60×10^{-1}	
0.12	2.6×10^{-3}	微粒砂	2.0	1.80	細レキ
0.14	3.8×10^{-3}				
0.16	5.1×10^{-3}				

D_{20} (mm)と透水係数及び土質分類
(地下水ハンドブック)



大量の土砂を運ぶ流れ
(2015/9/10関東・東北豪雨)

http://www.asahicom.jp/articles/images/AS20150910004768_comm.jpg

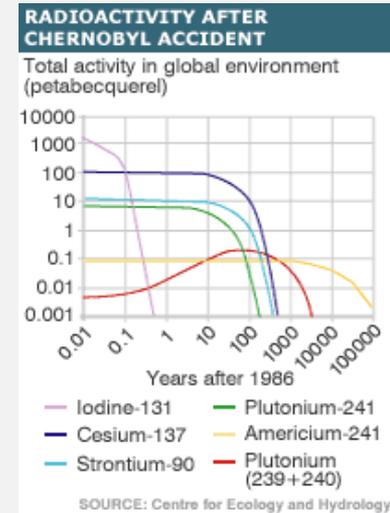


非粘着性と粘着性
(河川と山地斜面)

化学物質

対象とする化学物質

- 陸域環境中に放出された様々な形態の化学物質
- 流域及び大陸スケールにおよぶ長期的な環境汚染
- 異なる輸送媒体による移動現象
 - 水相: 溶解性物質
 - 気相: 揮発性物質
 - 固相(粒子状物質): 懸濁性物質
- 輸送媒体間の移動現象
- 対象化学物質、共存する物質に応じた様々な生物化学的反応



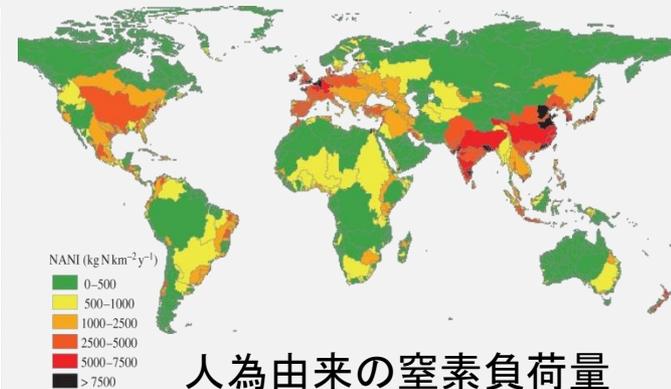
ウクライナ・チェルノブイリ事故
<http://www.bbc.com>



インドネシア・産業排水汚染
(Citarum River Basin)



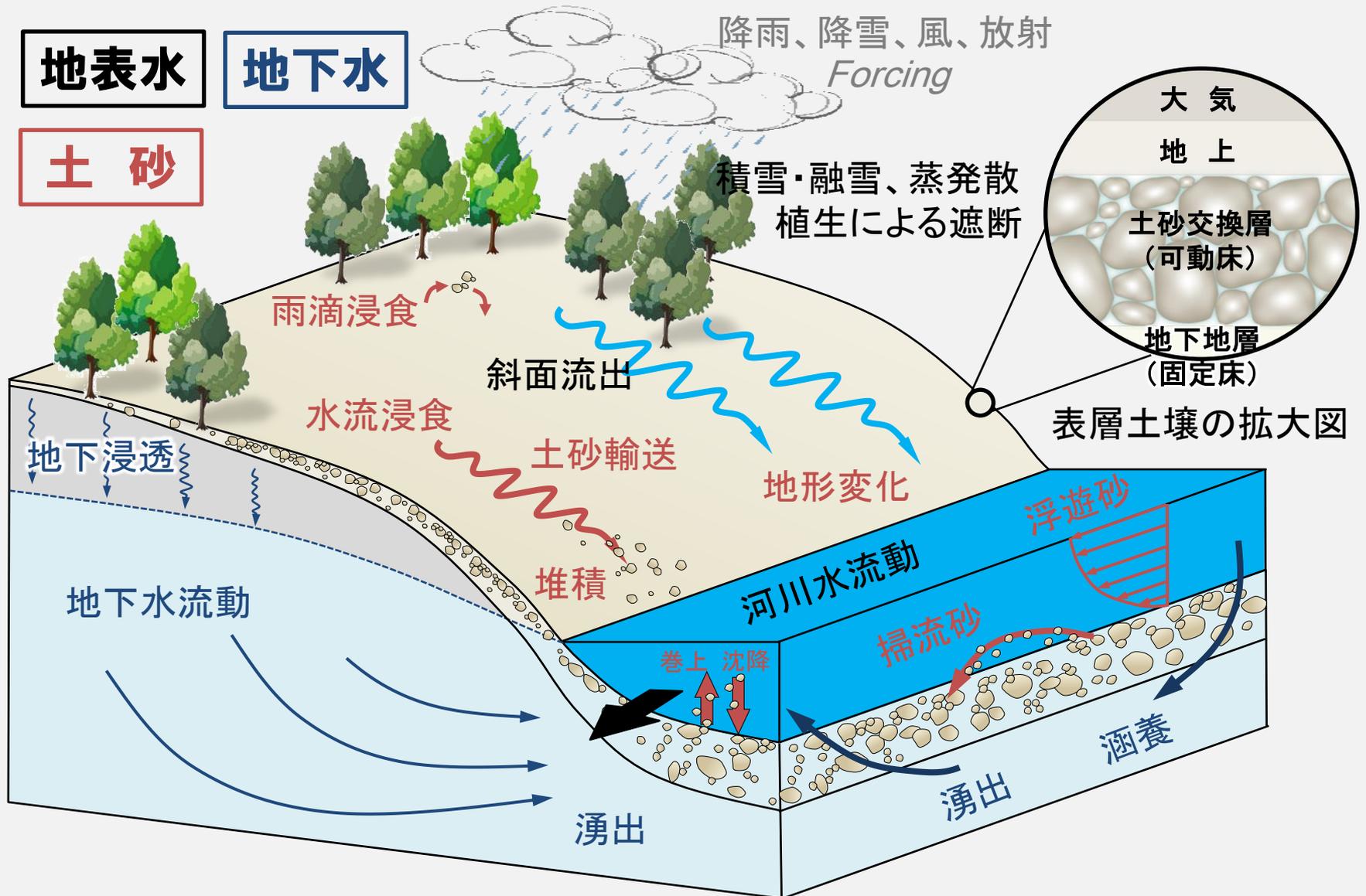
ガーナ・電子機器投棄場
(Agbogbloshie)



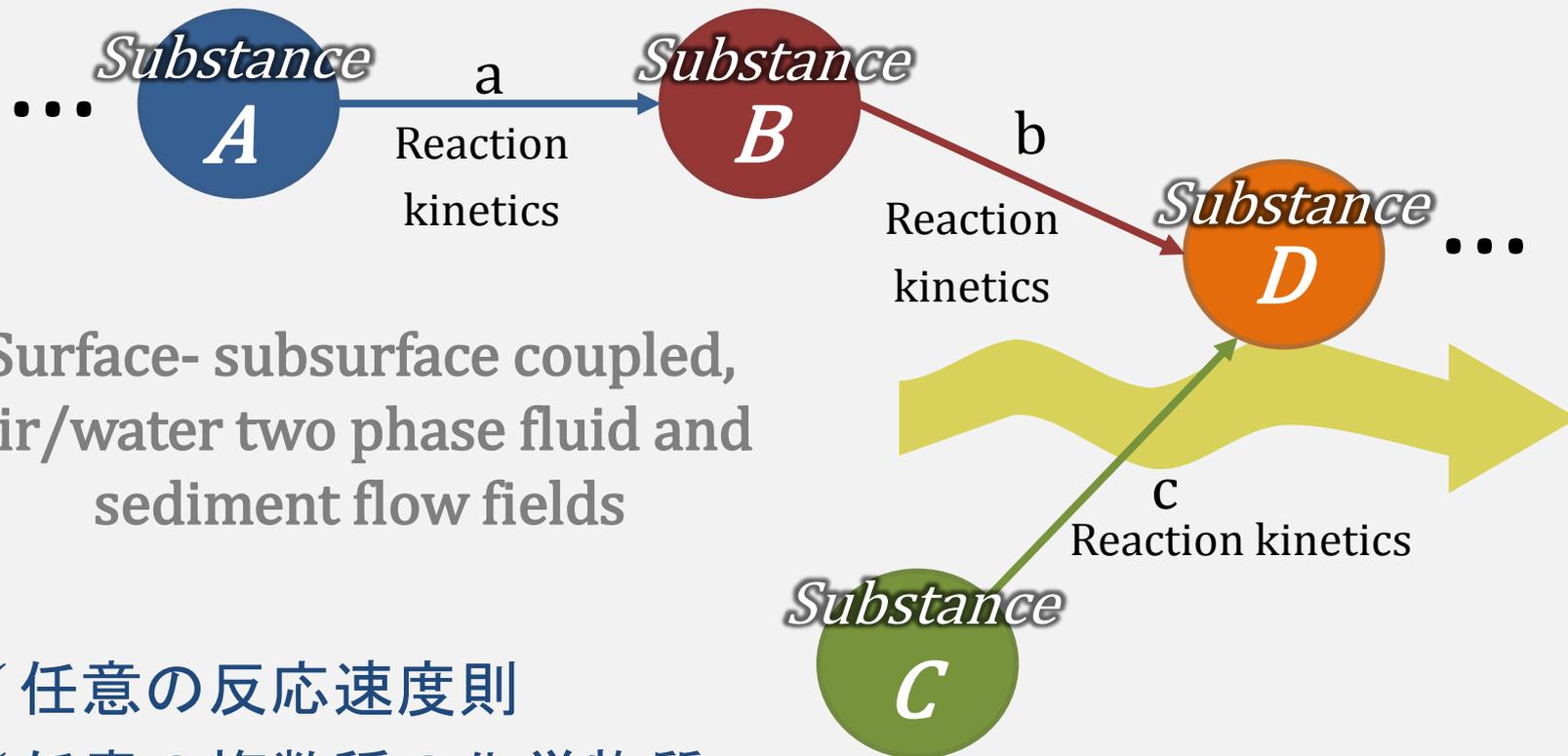
人為由来の窒素負荷量

Billen et al., (2013). The nitrogen cascade from agricultural soils to the sea: modelling nitrogen transfers at regional watershed and global scales.

流体・土砂同時輸送系の概念



流体・化学物質同時輸送系の概念



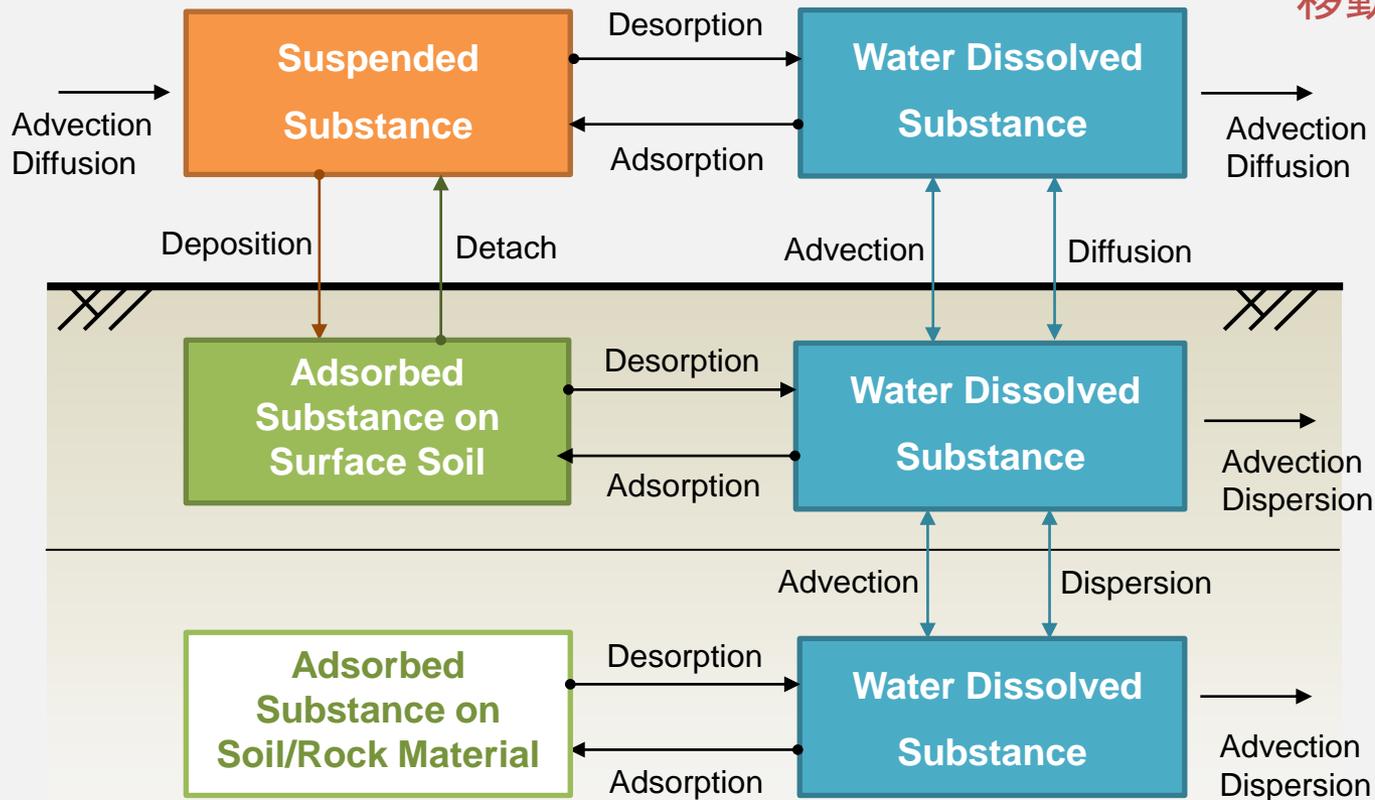
Surface- subsurface coupled,
air/water two phase fluid and
sediment flow fields

- ✓ 任意の反応速度則
- ✓ 任意の複数種の化学物質

流体・化学物質・土砂同時輸送系の概念

Surface-subsurface coupled, air/water/sediment
three phase flow fields

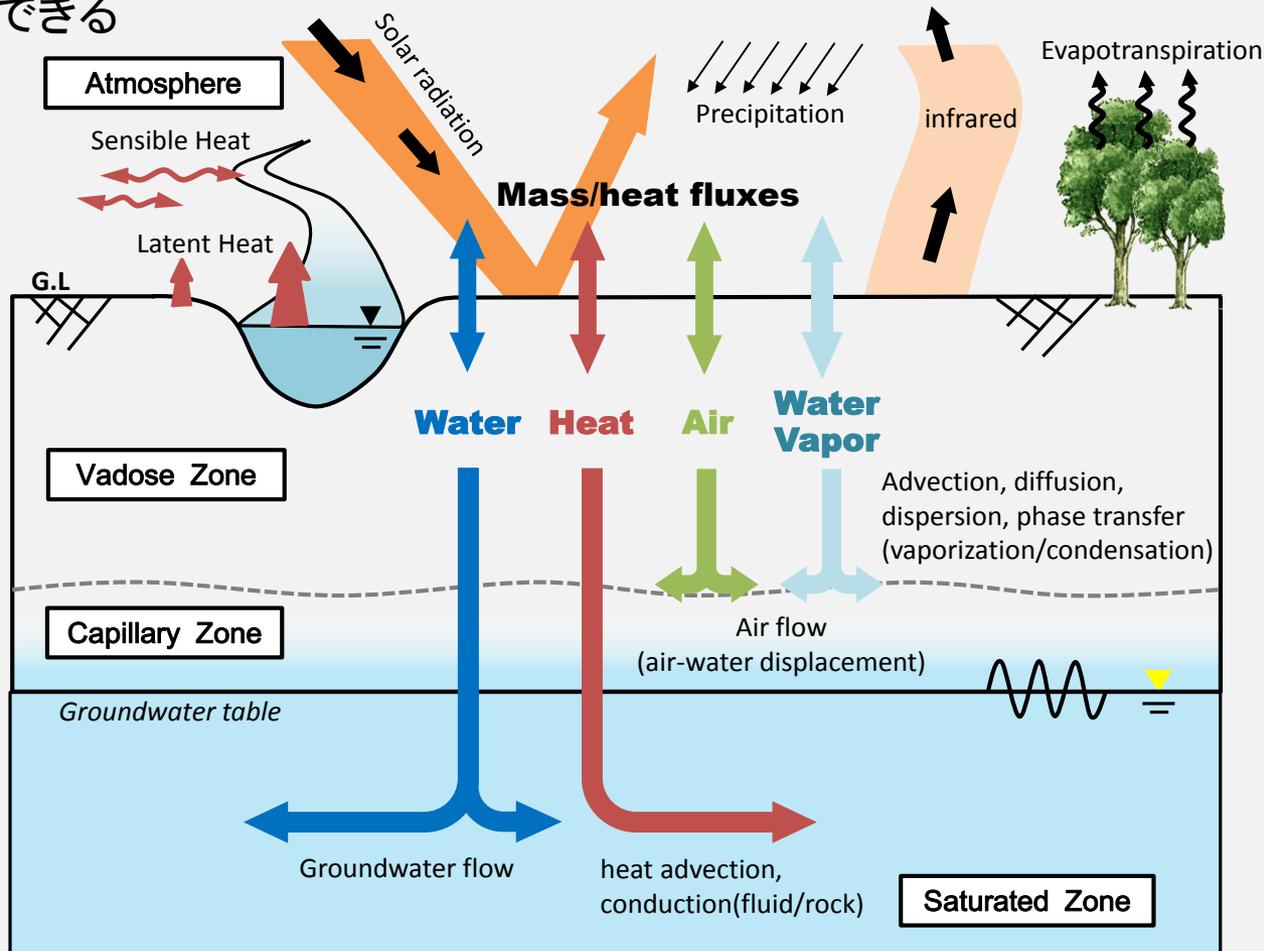
異なる輸送媒体(土砂、水)による物質移動経路の追跡



Surface-subsurface coupled, air/water two phase flow fields

熱：非等温流体系への拡張

- 空気相を輸送媒体とする**水蒸気の移動現象をモデル化**
- 水蒸気生成・消滅を気液相間の物質移動現象(相変化)に**陸面熱収支を組み合わせて一般化**すると、水収支変動解析に重要となる**蒸発現象のモデル化へ拡張**させることができる



<p>流 体</p>	<p>浸食堆積 移流 拡散</p>	<p>移流 拡散 力学分散</p>	<p>移流 拡散 力学分散</p>
<p>密度变化 地形变化</p>	<p>土 砂</p>	<p>移流 拡散</p>	<p>移流 拡散</p>
<p>熱伝導 密度变化 相变化</p>	<p>熱伝導</p>	<p>熱</p>	<p>温度</p>
<p>溶解 揮発 密度变化</p>	<p>吸着 脱離</p>	<p>反応熱</p>	<p>化学 物質</p>

流体

$$-\nabla \cdot (\rho_p u_p) - \sum_{k_f}^{NoI_f} F_{p,k_f} - q_p = \frac{\partial(\phi \rho_p S_p)}{\partial t}$$

水·空氣

土砂

$$-\nabla \cdot (u_w C_{ss,i}) + \nabla \cdot (\varepsilon_{ss,i} \nabla C_{ss,i}) + \sum_{k_s}^{NoI_s} S_{i,k_s} - q_w C_{ss,i} = \frac{\partial(\phi S_w C_{ss,i})}{\partial t}$$

浮遊砂

$$-\frac{1}{1-\phi} \sum_i \left(\frac{\partial r_{Bx,i}}{\partial x} + \frac{\partial r_{By,i}}{\partial y} + \sum_{k_s}^{NoI_s} S_{i,k_s} - h_{ss,i} \right) = \frac{\partial \xi}{\partial t}$$

可動床

熱

$$-\nabla \cdot (\rho_p H_p u_p) + \nabla \cdot D_p H_p \nabla C_p + \sum_{k_h}^{NoI_h} T_{p,k_h} - q_p H_p = \frac{\partial(\phi \rho_p U_p S_p)}{\partial t}$$

水·空氣

$$\nabla \cdot \lambda_s (\nabla T_s) + \sum_{k_h}^{NoI_h} T_{s,k_h} - q_s H_s = \frac{\partial}{\partial t} [(1-\phi) \rho_s U_s]$$

地層

化学物質

$$-\nabla \cdot (u_p C_{p,j}) + \nabla \cdot D_{p,j} \nabla C_{p,j} + \sum_{k_{cf}}^{NoI_{cf}} M_{j,k_{cf}} - q_p C_{p,j} = \frac{\partial(\phi S_p C_{p,j})}{\partial t}$$

水·空氣

$$-\nabla \cdot \left(u_w \frac{C_{ss,i}}{\rho_{ss,i}} C_{cs,i,j} \right) + \nabla \cdot \varepsilon_{ss,i} \nabla \left(\frac{C_{ss,i}}{\rho_{ss,i}} C_{cs,i,j} \right) + \sum_{k_{cs}}^{NoI_{cs}} M_{i,j,k_{cs}} - q_w \frac{C_{ss,i}}{\rho_{ss,i}} C_{cs,i,j} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{C_{ss,i}}{\rho_{ss,i}} C_{cs,i,j} \right)$$

浮遊砂

支配方程式

$$\sum_{k_{cs}}^{NoI_{cs}} M_{i,j,k_{cs}} = \frac{\partial C_{cs,i,j}}{\partial t}$$

地層

弊社サービスのラインアップ



1. モデリング・コンピューティングサービス

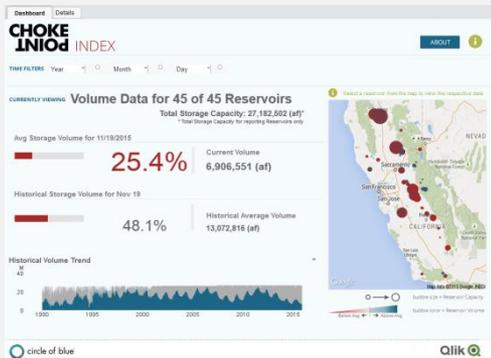
- データ分析・処理
- 地圏流体シミュレーション

GETFLOWS, TOUGH2, iTOUGH2, MODFLOW, PHREEQC2, DTRANS, UCODE2014, ADCIRC, MODPATH, MT3DMS, PEST

- シミュレータ性能評価・チューニング・並列化



2. GFライセンスサービス・トレーニング



<http://www.circleofblue.org>

3. コンテンツサービス

- 可視化
- ダッシュボード

最近の適用例

水環境問題

(水の量と質の実態把握へ)

- 栄養塩 (窒素化合物)
- 降下放射性核種

流域スケールの物質の起源や移動経路
“*pollutant linkages*”を知ることは必ずしも容易でない!

日本列島の水循環モデル

(第二次国土水循環モデル)

Source

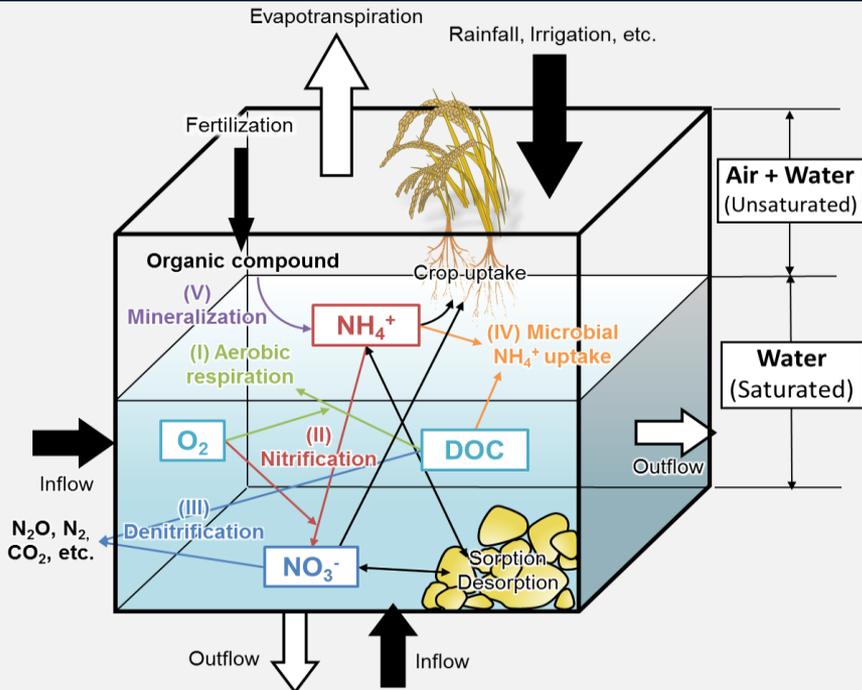


Pathway

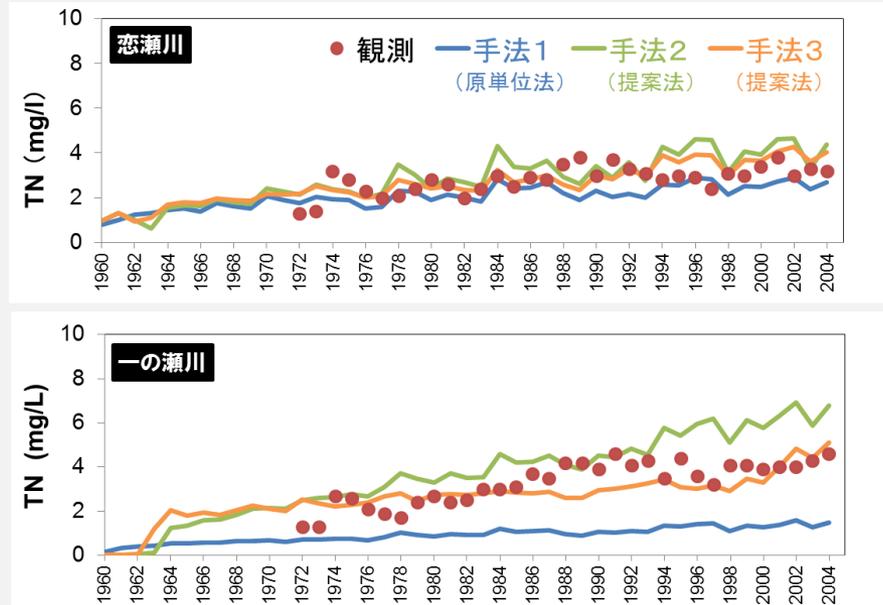


Receptor

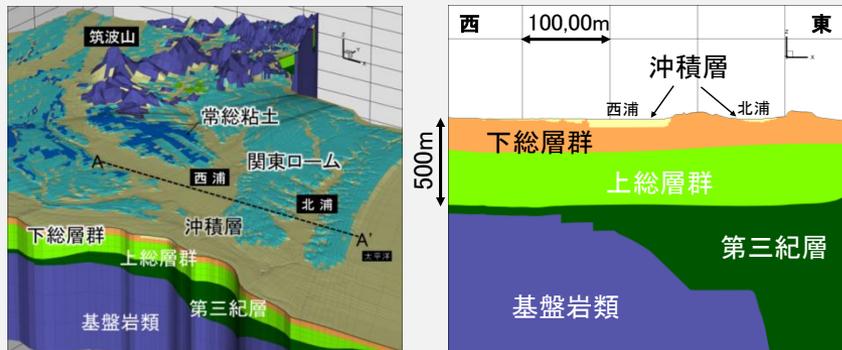
硝酸性窒素汚染問題



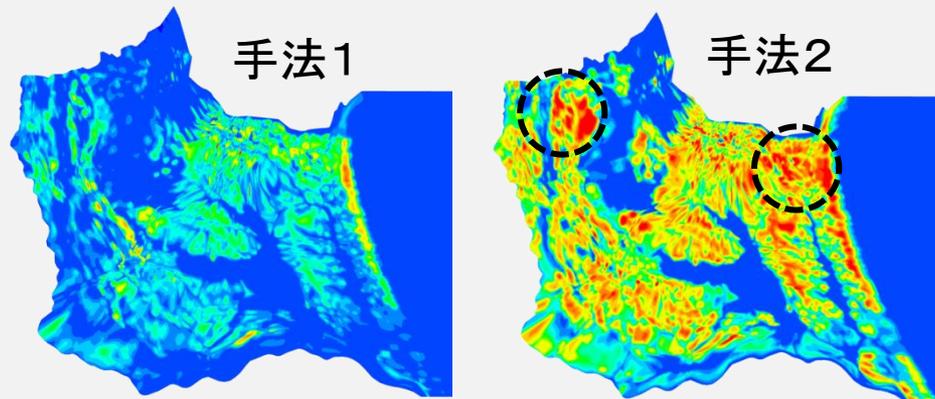
窒素化合物の酸化還元反応の概念



河川水中の全窒素濃度(GL-25m)

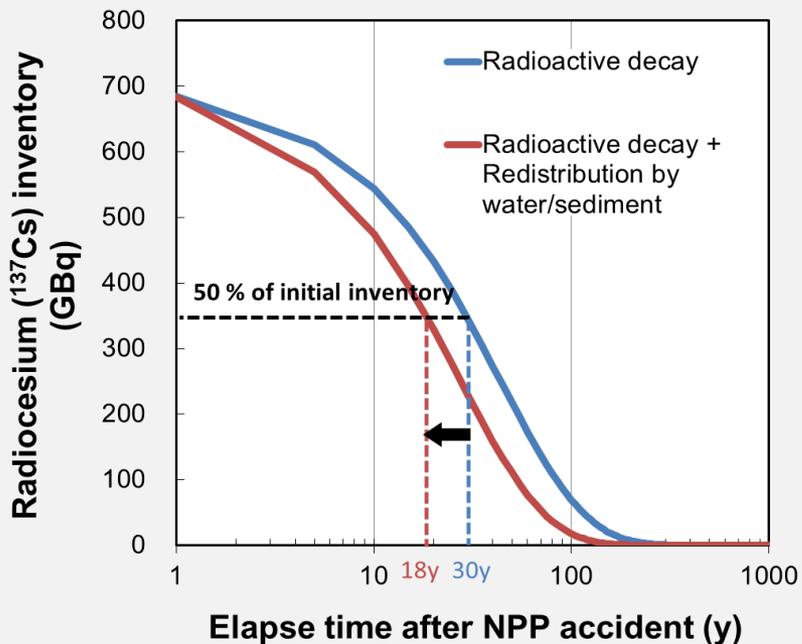
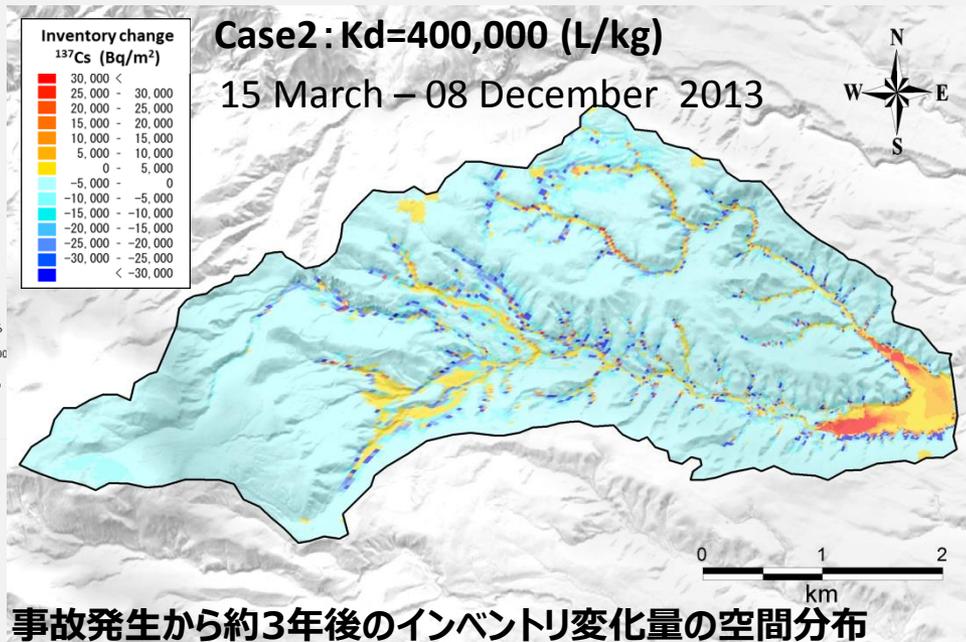
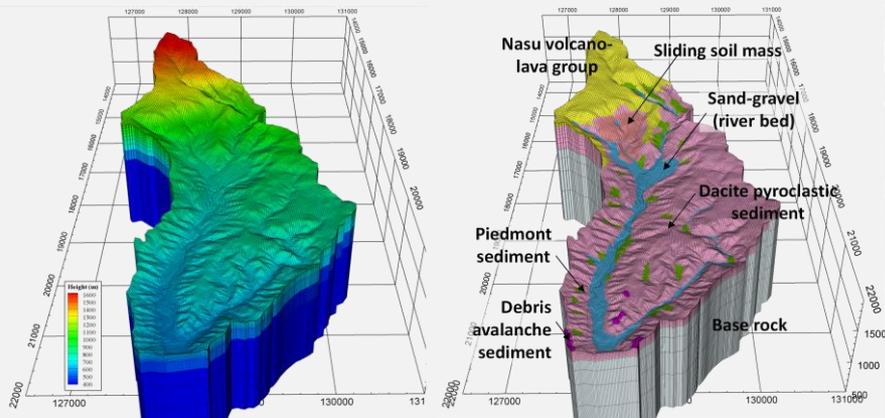


霞ヶ浦流域モデル



地下水中の硝酸態窒素濃度(GL-25m)

降下放射性核種の動的再配置問題



Environmental Modelling & Software 72 (2015) 126–146

Contents lists available at ScienceDirect

Environmental Modelling & Software

journal homepage: www.elsevier.com/locate/envsoft

Integrated watershed modeling for simulation of spatiotemporal redistribution of post-fallout radionuclides: Application in radiocesium fate and transport processes derived from the Fukushima accidents

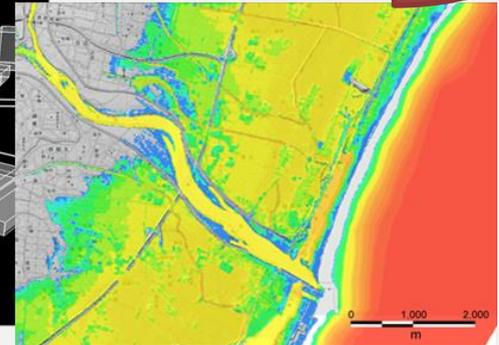
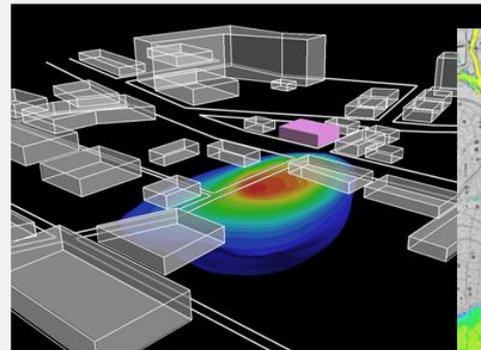
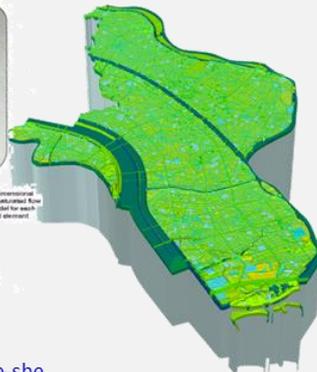
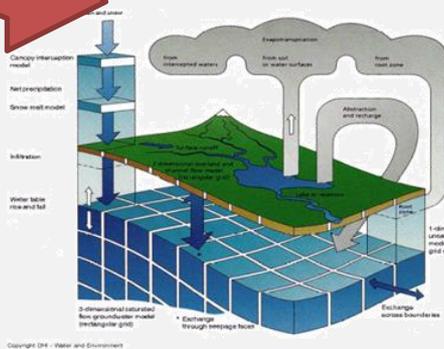
Koji Mori ^{a,*}, Kazuhiro Tada ^a, Yasuhiro Tawara ^a, Koichi Ohno ^b, Mari Asami ^b, Koji Kosaka ^b, Hiroyuki Tosaka ^c

^a Geosphere Environmental Technology Corp., 2-1 Kanda-Awajicho, Chiyoda-Ku, Tokyo 101-0063, Japan
^b Department of Environmental Health, National Institute of Public Health, 2-3-6 Minami, Wako, Saitama 351-0197, Japan
^c Department of Systems Innovation, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-Ku, Tokyo 113-8656, Japan



第二次国土水循環モデルの位置づけ

普遍的な自然法則から迫る現象理解



DHI water & environment
<http://www.mikebydhi.com/products/mike-she>

Design-Based-Modeling

では、その信頼性は・・・？

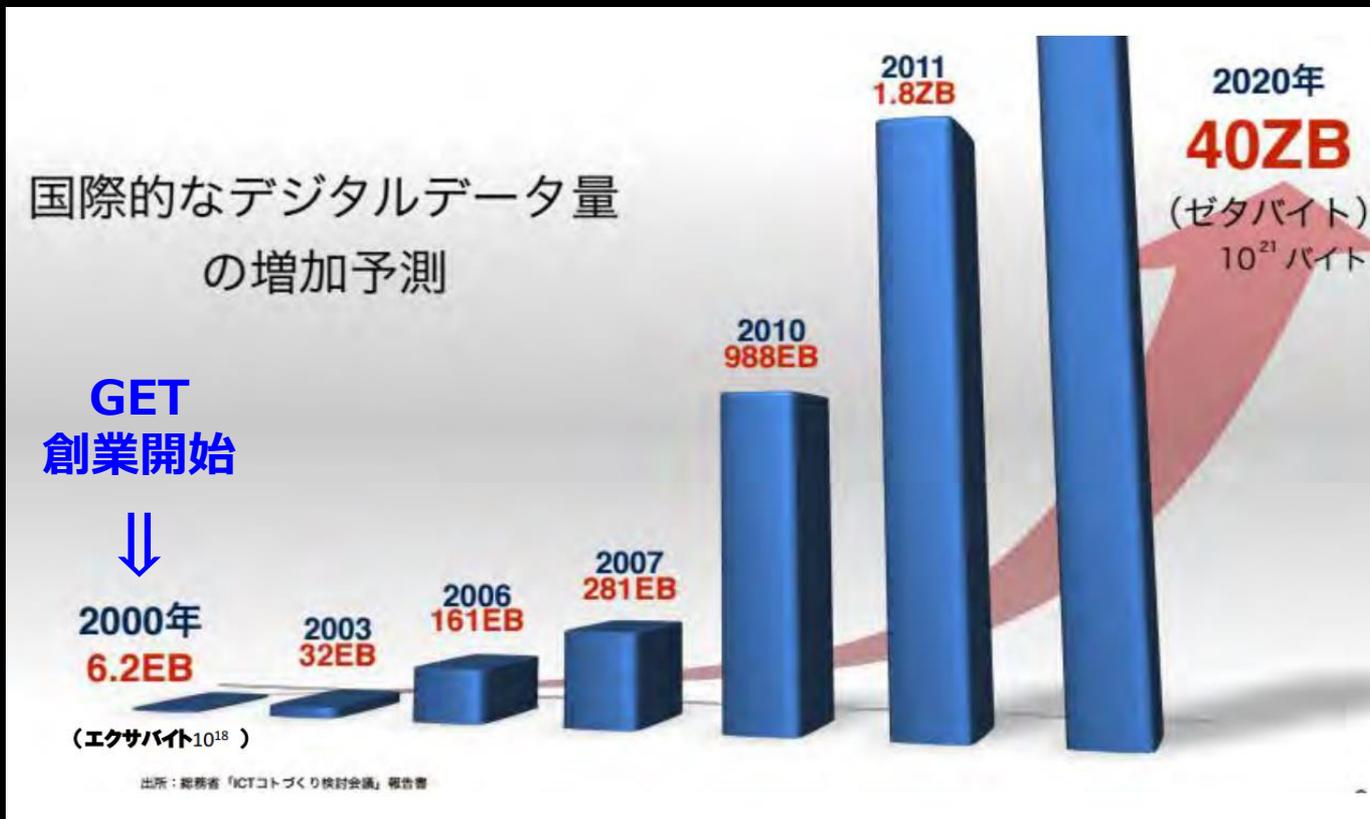
- 利用した情報・データの量と質による
- 一足飛びに信頼性の高いモデルとはならない
- 情報とデータを蓄積・更新しながら使い続ける



やはり・・・

インターネット上の巨大な情報・データを最大限活用する！

Internet Big Bang

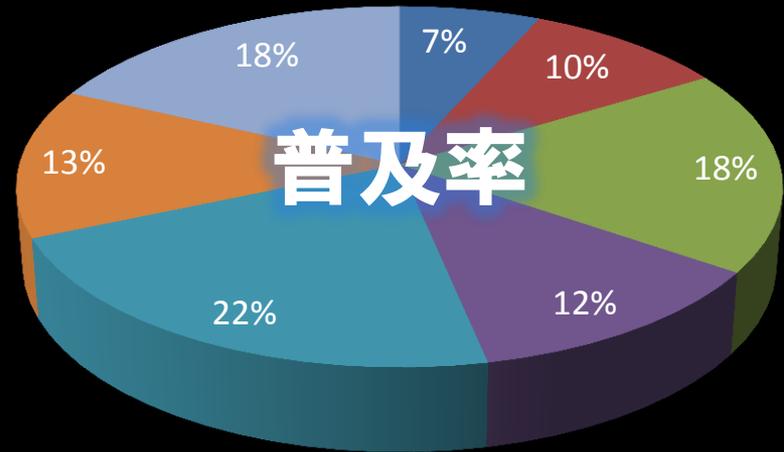
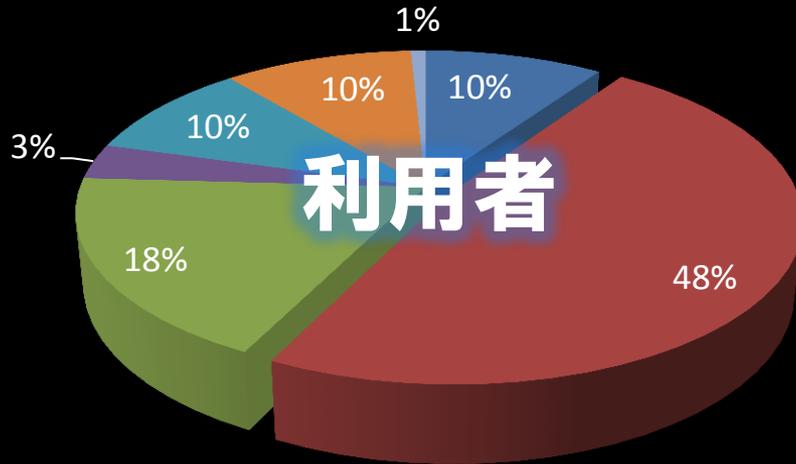


経済産業省「研究開発税制等の今後の在り方に関する勉強会」
ヒアリング資料 一般社団法人新経済連盟 2015年11月13日

世界のインターネット利用・普及状況

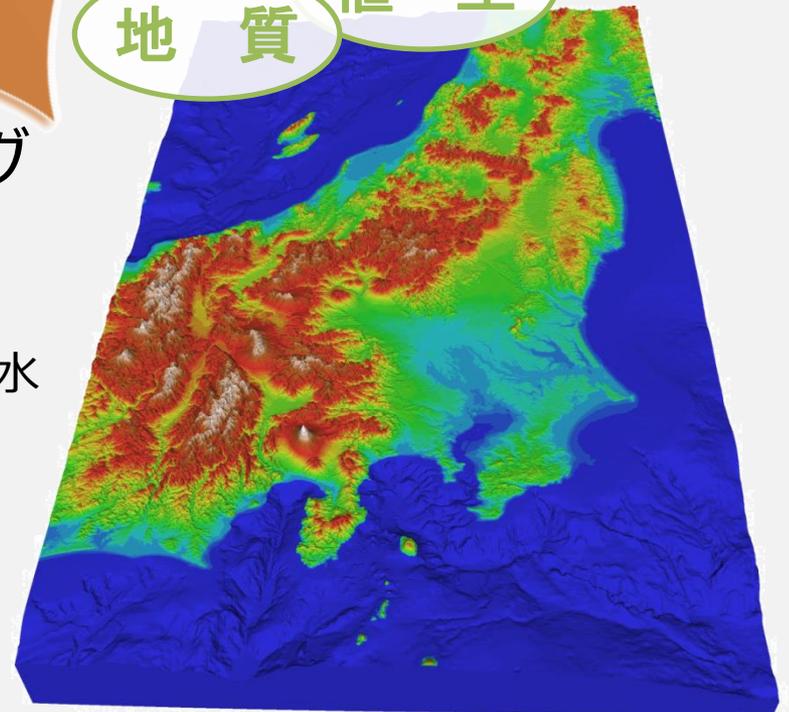
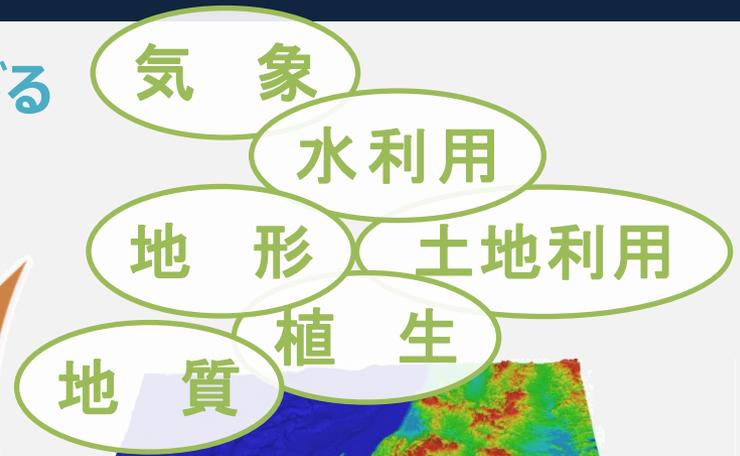
- Africa
- Asia
- Europe
- Middle East
- North America
- Latin America / Caribbean
- Oceania / Australia

日本のインターネット普及率は約90.2%
アジアでは韓国に次ぐ第二位
アジア諸国の成長とインフラ整備に伴って、インターネット利用者はさらに増加となる見込み？



日本、東南アジア・・・、グローバル

- 全ての情報、データがインターネットに繋がる
- 位置と時期が分かる情報は全て利用可能
- 実態を記述するデータモデルとのリンク
- 情報、データのフィルタリングが肝

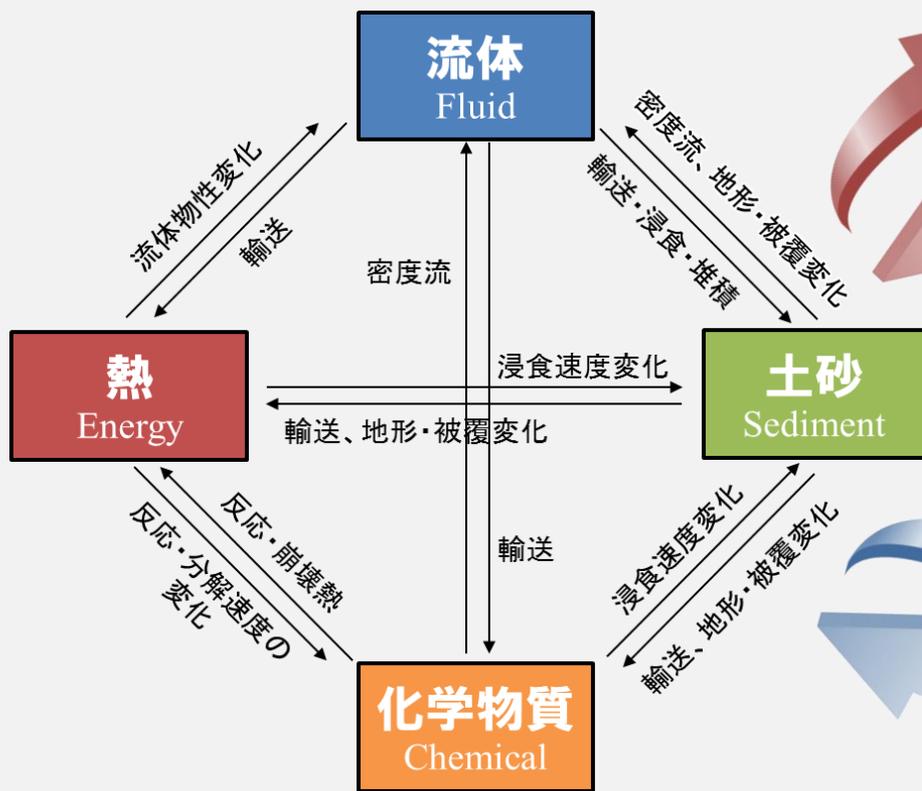


技術開発状況のご紹介

- **GETFLOWS + 複合現象カップリング**
 - バイオマスの生物化学的過程
 - 微生物、熱力学反応 (PHREEQC2, PHRQPITZ, etc)
 - 地層変形 (PyLith, GeoFEM, etc)
- **GETFLOWS V&V**
- **日本列島及び全球水循環モデリング**

GETFLOWS + 複合現象カップリング

実績の十分なカップラー (OpenMI, OASYS, ***) を用いて複合現象の適用領域を拡大



変形

$$\nabla \cdot \sigma + \rho g = 0$$

$$\nabla \cdot [\sigma - (S_w p_w + S_g p_g) \mathbf{I} - \beta_T \Delta T \mathbf{I}] - \rho g = 0$$

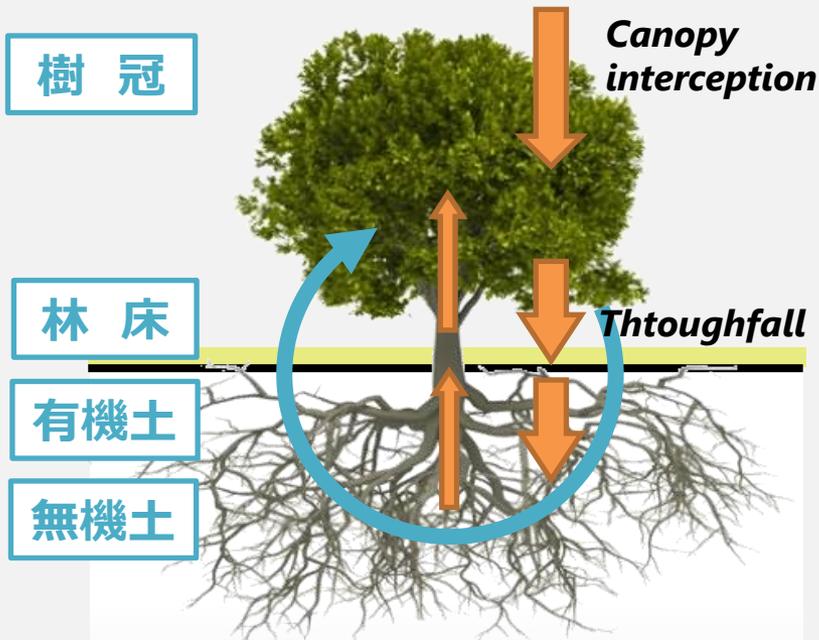
微生物・熱力学反応

$$\ln(K_{P,T}) = \frac{\Delta G_{P,T}^0}{RT}$$

$$K_i = \frac{a_w^{v_{w,j}} \prod (\gamma_i C_i)^{v_{w,j}} \prod (a_m)^{v_{w,j}} \prod (f_g)^{v_{g,j}}}{\gamma_i C_i}$$

GETFLOWSの連成システム

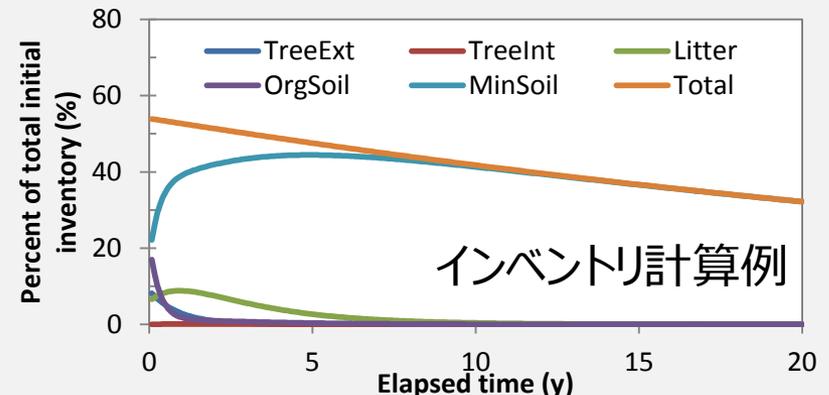
森林生態系における物質循環



Atmosphere (Air)	interception rainfall snowfall	interception	interception rainfall snowfall			interception	interception rainfall snowfall	interception inhalation
transpiration burning	Tree leaves	translocation	leaves fall weathering			weathering interception	weathering interception	ingestion
burning	translocation	Tree other	weathering interception	Fertilisation	Fertilisation	mycorrhizae	weathering interception	ingestion
resuspension		rain splash	Litter	Decomposition Percolation	Percolation	root uptake	rain splash	ingestion
		root uptake		Soil organic	Percolation, diffusion/advection	root uptake	root uptake	
		root uptake			Soil mineral	uptake	uptake	
		root uptake (mycorrhizae)	fertilisation	Fertilisation	Fertilisation	Fungi	root uptake (mycorrhizae)	ingestion
transpiration burning			leave fall, weathering interception	Fertilisation	Fertilisation	mycorrhizae	Understorey	ingestion
			fertilisation			consumption	consumption	Wild animals

(A. Avila and L. Moberg, 1998)

- 森林生態系の物質循環モデルには、様々なものが提案されている(IAEA, 2002)
- いずれも、森林を複数のコンパートメントで表現し、それらの間の移動現象を解析する (FORESTPATH, RIFE, ECORAD, etc)
- 流域スケールの物質循環とカップリングされているものは無い



GETFLOWS V&V

- V (Numerics) & V (Physics)
- 流出解析、浸透流解析等の個別現象モデルのシミュレータに対して、**統合型流域モデル**のV&Vで対象としなければならない**テストケースは多岐にわたる**
- 全ての機能、素過程をカバー
- **目標テストケースは300以上**
- 厳密解、他コードの解析結果、実験結果、実フィールドの測定結果との比較が中心
- 様々な分野の**国際プロジェクトの活用**(INTRAVAL, HYDROCOIN, INTRACOIN, SPE's Comparative Solution Projects, etc)
- 感度解析と不確実性解析

流体システム

流体相

- F-1 : 水相
- F-2 : 気相
- F-3 : 非水相液体 (NAPL)

流体特性

- F-4 : 密度
- F-5 : 粘度
- F-6 : 圧力依存性
- F-7 : 温度依存性
- F-8 : 超臨界状態

地表水流動

流動特性

- R-1 : 等流
- R-2 : 不等流
- R-3 : 不定流
- R-4 : 浸透
- R-5 : 湧出

開水路流れ

- 平均流速公式
 - R-6 : マニングの式
 - R-7 : ジェシーの式
- 運動方程式解法
 - R-8 : Dynamic Wave
 - R-9 : 拡散波近似
 - R-10 : 線形化拡散波近似
 - R-11 : 運動波近似

地下流体流動

流動特性

- G-1 : 単相流
- G-2 : 二相流
- G-3 : 多相流
- G-4 : 水蒸気
- G-5 : 塩水 (密度流)
- G-6 : ダルシー流れ
- G-7 : 非ダルシー流れ

水文地質学的媒体特性

- G-8 : 多孔質媒体
- G-9 : 離散的フラクチャー
- G-10 : 二重孔隙モデル
- G-11 : 均質水力学特性
- G-12 : 不均質水力学特性
- G-13 : 異方的水力学特性
- G-14 : 地盤圧縮性
- G-15 : 膨潤
- G-16 : 収縮
- G-17 : 傾斜地層
- G-18 : 複数種地層

媒体パラメータ

- G-19 : 孔隙率
- G-21 : 孔隙率変化
- G-22 : 浸透率 (透水係数)
- G-23 : 浸透率変化
- G-24 : 圧縮率
- G-25 : 残留飽和率
- 飽和率 vs. 毛管圧力 (サクシオン)
 - G-26 : モデル選択
 - G-27 : 表形式入力 (任意の関数)

GETFLOWS 機能分析リスト (一部抜粋)
他に、物質輸送、熱輸送、土砂輸送、変形、数値解法・ソルバー、出力など (田原ほか、2010)。

GFライセンス

	水	空気	非水相液体	熱	溶質	土砂	並列
GETFLOWS基本パッケージ							
GETFLOWS (正規)	✓	✓					
GETFLOWS (Academic)	✓	✓					
GETFLOWSエクステンション¹⁾							
MPF(Multi-Phase Flow)	✓	✓	✓				
HT(Heat Transport)	✓	✓		✓			
RT(Reactive solute Transport)	✓	✓			✓		
ST(Sediment Transport)	✓	✓				✓	
HPC ²⁾ (High Performance Computing)	✓	✓					✓

- 1) GETFLOWSエクステンションは単体ではご利用になれません。基本パッケージと組み合わせての利用を前提とします。
 2) 並列エクステンション(HPC)は基本パッケージのみに対応します。
 3) 年間保守料（オフサイトサポート、バージョンアップ）は本体価格の30%です。