第15回GETFLOWSユーザー会議

国土水循環モデルの開発状況

平成27年11月25日



Geosphere Environmental Technology Corp.

アウトライン

第一次国土水循環モデルの概要

- 第二次国土水循環モデルの開発
- 解析条件・手順
- 解析結果
- 国土水循環モデルの利用例

今後に関して

第一次国土水循環モデルの概要

• 第二次国土水循環モデルの開発

解析条件・手順

● 解析結果

• 国土水循環モデルの利用例

今後に関して



- 2009年、1kmメッシュ第一次国土水循環モデルの 開発に着手
- 第一次国土水循環モデルでは、膨大なデータ処理 量、実用的な計算速度の視点から実行可能性を評 価・確認
- 自由度数約1億(格子数約3,300万、未知数3)を約
 500コアの計算機を用いて並列処理

地下水も含めた流域界の抽出や大きな水循環系の 可視化情報として利用



東京新聞 2014年9月27日夕刊

易野県など11県)、⑦難がどれだけ水 を汲んでいるのかを明確にする「採水 の見える化」(熊本県、鳥取県など)、 ③地表の水を地下に染み込ませる「か ん養の促進」(能本県、福井県など) です。

例えば、生活用水の 8 創が地下水を 水源とする無本県では、2012年に「地 下水保全条例」を改正しました。これ まで「私水」だった地下水を「公共水」 と定め、大口事業者に許可制を導入し ています。

そうした中、今年4月に制定された 法律が「水循環基本法」です。これは 河川や下水道が国土交通省、上水道が 厚生労働省と、複数の省庁にまたがる 行政分野を一本化することで、近隣自 熊本に学ぶ 攻め の水保全 治体間で調整しやすくするのが狙いで す。ポイントは「水は国民共有の貴重 な財産」と位置づけたことでしょう。 国がこのようなガイドラインを定め たことは重要です。今までは自治体が 地下水を守りたくても、訴訟リスクが 大きく規制が難しい面もありました。 基本法の制定により、自治体は大口事 業者の水使用に対して必要な規制をし







地下水液域のシミュレーションモデル(地層環境テクノロジー・オープン団土水準環モデル)。 地下水の広場管理が求められる中で、ITによる可投化も重要になっている。

企業、住民も協力 地下水保全で見習うべきは、無本県 の取り組みでしょう。 部本県が先進的なのは、市民と事業 者が一体となって地下水の保全に取り 組んでいる点です。たとえば、菊陽町 に進出したソニーの半導体工場 (ソ ニーセミコンダクタ株式会社・熊本テ クノロジーセンター)では、半導体の 製造過程で使用した水を返すべく、 2003年から地元農家の協力を得なが ら、 涵養事業を始めました。 稲作を 行っていない時期に、協力農家の田ん ばに川から水を引いてもらい、その費 用をソニーが負担する仕組みです。 一方、地元のみそ業者などの中小企 葉は、「くまもと地下水財団」に、地 下水の採取量に応じた協力金を支払う

購入すると、間接的に地下水利用によ る環境負荷が還元(オフセット)され るというもので、地元大学の学食など で地下水溜養米が使用されています。 また、熊本県菊池市のJA菊池は水 資源保全と地域活性化の一石二鳥を狙っ たプランド牛「えこめ牛」を展開して います。これは海外のトウモロコシで はなく、地元のお米を使って牛を育て る試み。飼料用米を育てる水田や休鮮 地の有効活用によって、地下水の運養 力が高まり、海外への穀物・水依存り スクも減らせます。お米で育てられた 牛は味も良いと鮮利で、東京の有名レ ストランでも多数採用されています。 これまでの動きをみると、自治体は 地下水を奪われたくないあまり、「守 り」の姿勢で対策を考える傾向が強 かったように思います。しかし、今後 は熊本県のように、企業と一体となっ て地下水の保全に取り組むことで企業 誘致を進めたり、水保全を地場産業振 腰や観光に活かしたりといった、「攻 め)の対策を講じることが必要なので はないでしょうか。 J

月刊事業構想 2014年8月

グローバル化という流れの中で、日 本企業は中国や東南アジアを中心に生 産拠点のシフトを進めてきました。し かし今後は、生産拠点の立地を決める 上で、「水リスク」を意識せざるを得 ない時代になるはずです。 企業にとっての「水リスク」は、主 に探索、財務、法的、評判という4つ のリスクがあります(27ページ図2 参照)。操業リスクを例にとると、 2011年のタイ大洪水で日系企業の工 場が操業停止となり、甚大な被害を受 けことは記憶に新しいでしょう。 海外での水リスクが高まるにつれ、 (左)水資差保全と地域活性化の一石二角を狙った根本の「えこめ牛」 (右上)企業が協力して日ムほに 水を張る、熊本での灌水事業 (右下)熊本県は銀料用未の育成を、地下水保全にも役立てている 比較的水資源の豊富な国内に注目が集

まり、生産拠点の国内回帰が見直され るようになりました。しかし、国内に 回帰しても、企業が「水リスク」から 解放されるわけではありません。なぜ なら自治体は地下水の枯渇に対して危 機感を強めており、将来的に水使用の 規制を受ける可能性があるからです。 地下水制限に踏み出す自治体 水循環基本法も後押し

その背景には、地下水の利用につい

「水リスク」で国内回帰の流れ

各自治体が個別の対応を取らざるを得 多くの自治体が悪念を強めていること ないという実情があります。 もあり、地下水保全のルールづくりは **常くべきことに、日本には地下水の** 喫緊の課題となっていました。 利用権を明確に定めた法律がないため、 「国の対応は待てない」と、いち早 土地を買われると地下水使用を制限で く地下水の規制に踏み出した自治体も きません。尼注第207条では、十曲雨 あります。それらが定めた条列は、以 有権の範囲を「法令の制限内において、 下の3パターンに区分されます。①誰 その上下に及ぶ」とされ、地下水は土 から誰の土地になるのかを事前に届け 地所有者のものとされています。加え 出る「土地取引の見える化」(北海道、

て国の法整備が不十分であるために、 | て、相次ぐ外国資本による森林買収に、

田んほが育む、日本一の水

水田を利用した

くまもと県産

飼料用🖯

ブロジェクトF88

制料白綿車の向上を日振して!

42 PROJECT DESIGN - AUGUST 2014

第一次国土水循環モデルの課題

- 地形表現
 - 1km解像度
- 地層構造
 - 表土層、沖積層、洪積層、水理基盤岩類の4区分
 - 主要平野・盆地のみに対して沖積層・洪積層を一定の厚さで表現
 - 詳細構造や既存検討で得られている水理物性を反映していない
 - 河川流量等の非定常応答による評価・検証が困難
 - 海底への淡水湧出機構
 - 地下水流速・滞留時間
- 等温流体
 - 水温トレーサが活用できない
- 水利用
- データの再利用性
 - GIS等によるレイヤ構造管理(更新が容易でない、解像度に依存)



• 第二次国土水循環モデルの開発

解析条件・手順



• 国土水循環モデルの利用例

今後に関して

第二次国土水循環モデルの開発

		第一次	第二次						
流体システム		等温状態の水・空気・塩分2相3成分系	非等温状態 の水・空気・塩分2相3成分系						
水平解像度	-	1,000m	500m						
自由度数		約1億(約3,300万格子×3変数)	約5億(約1億3,000万格子×4変数)						
	降水量	メッシュ気候値2000(1971年-2000年)よ り平均降水量を算出	メッシュ平年値2010(1981年-2010年) よ り平均降水量を算出						
気象条件 海洋条件	蒸発散量	メッシュ気候値2000(1971年-2000年)の 平均気温を思いて、ハーモン法によって、 蒸発散	メッシュ平年値2010(1981年-2010年)の 平均気温を用いて、ハーモン法によって						
	海水位	標高0m	· 信心m						
地表被覆	土地利用	国土数値情報土地利用3次メッシュ	国土数値情報土地利用細分メッシュ						
地形		国土数値情報3次メッシュ	数値地図50mメッシュ						
土壌・地質		主要な地で取りたけ、法律の地です。法律の地でで、地方の時代では、法律のでは、法律のでは、法律のでは、法律のでは、法律のでは、法律の法律のでは、法律の法律の法律の法律の法律の法律の法律の法律の法律の法律の法律の法律の法律の法	20万分の1シームレス地質図(産総研)を ベー・フ 第一紀層は風化・緩みゾーンと フー・リンド・主要平野に分布する第四 紀層に対して分布域と基底面標高を設定 厚さ1mの表土層を設定						
水利用・熱利用		考慮しない	考慮しない(今後、考慮予定)						
境界条件		モデル上面は標準大気圧を与えた定圧境 界、側面・底面は閉境界、海域は水位固 定・等温境界	モデル上面は標準大気圧、多年の平均気 温を与えた定圧・等温境界、側面は閉境 界、底面は流体に対しては閉境界、熱に 対しては等温境界、海域は水位固定・等 温境界						

陸面状態のモデル化

- 気象:メッシュ平年値2010(1981年-2010年)から降水量、 蒸発散量(←気温)の空間分布を作成
- 土地利用・被覆:国土数値情報土地利用細分メッシュの土 地利用区分に対応付けて等価相度係数を設定
- 地形:国土地理院数値地図50mメッシュを使用



地下地質構造のモデル化手順

- 第1段階:表層地質分布を作成
- 第2段階:第三紀層以前の深度方向の地質構造を推定
- 第3段階:第四紀層の深度方向の地質構造を 推定
- 第4段階:信頼性の高い地質情報が得られている地域に対して詳細情報を反映

地下地質構造のモデル化(第1段階)

産総研20万分の1シームレス地質図の地質区分を岩相 や形成過程を考慮して25区分に再分類し、さらに第 四紀層深部の第三紀層分布を推定

表層地質

• 第一次国土モデル

- 第四紀層:2区分、第三紀層:1区分

• 第二次国土モデル

- 第四紀層:5区分、第三紀層:20区分

※地表面から厚さ1mで分布する表土層を除く



地下地質構造のモデル化(第2段階)

接谷面を用いて深度方向を3レベルの風化・緩みゾーンと新鮮部に分類し、新鮮部にはさらに水理特性の 深度依存性を考慮



地下地質構造のモデル化(第3段階)

第四紀層は一定層厚とし、さらに主要な平野・盆地には別途、第四紀層の分布域と基底面標高を推定

第四紀層



地下地質構造のモデル化(第4段階)







関東平野を例に





• 第二次国土水循環モデルの開発

解析条件・手順



• 国土水循環モデルの利用例

今後に関して

解析条件(流体システムと流体物性)

流体システム	, 	水、空気、塩分2相3成分系(非等温流体)
	水	密度:1,000(kg/m ³) 粘性係数:1.0×10 ⁻³ (Pa s) 圧縮率:4.5×10 ⁻¹⁰ (1/Pa)
流体物性 (標準状態)	空気	密度:1.22(kg/m ³) 粘性係数:1.82×10 ⁻⁵ (Pa s) 圧縮率:圧力の逆数に比例
	塩水 (海水)	密度:1,025(kg/m ³) 塩分濃度:35(‰)

等価粗度係数

土地利用区分	等価粗度係数 (m ^{-1/3} s)					
田	0.6					
その他農用地	0.2					
森林	0.4					
荒地	0.1					
建物用地	0.05					
道路・鉄道	0.05					
その他の用地	0.1					
ゴルフ場	0.4					
水域	0.02					

表 6-2 河川や水路の状況と粗度係数の範囲

	河川や水路の状況	マニングの n の範囲					
人工水路・改修河川	コンクリート人工水路 スパイラル半管水路 両岸石張小水路(泥土床) 岩盤掴放し 岩 盤 整 正 粘土性河床,洗堀のない程度の流速 砂質ローム,粘土質ローム ドラグライン掘しゅんせつ,雑草少	0.014~0.020 0.021~0.030 0.025 (平均值) 0.035~0.05 0.025~0.04 0.016~0.022 0.020 (平均值) 0.025~0.033					
自然河川	平野の小流路,雑草なし 平野の小流路,雑草,灌木有 平野の小流路,雑草多,礫河床 山地流路,砂利,玉石 山地流路,玉石,大玉石 大流路,粘土,砂質床,蛇行少 大流路,礫河床	$\begin{array}{c} 0.025{\sim}0.033\\ 0.030{\sim}0.040\\ 0.040{\sim}0.055\\ 0.030{\sim}0.050\\ 0.040 $\rm PL$\rm $\rm $$					

表 5-7 流域特性と等価粗度

状	態	等価粗度 N (n	1 ^{−1/3} • s)
i		0.05	·
っれた丘	。陵地帯	0.1~0.1	2
		0.2~0.	4
段状田	畑主体流域	0.3~0.	5
		0.4~0.3	8
, 下流	低平水田 3	%の流域 0.6~1.1	1
		. 1~3	
	状 ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ;	 状態 かれた丘陵地帯 段状田畑主体流域 ,下流低平水田 30 	状態 等価粗度 N (n 5 0.05 5 0.1~0 5 0.1~0 6 0.2~0 8 0.3~0 0.4~0 0.4~0 0.6~1 1~3

出典:建設省河川局監修, 社団法人日本河川協会編, 1997. 建設省河川砂防技術基準(案)同解説 調査編

表 1-3.3 土地利用形態と等価粗度 n の標準値^{7)b}

	土地	利用形態	等価粗度 n (m ^{-1/3} ・s)					
水			田	2	(1~3)			
山			林	0.7	(0.4~0.8)			
丘陵,	畑地,	ゴルフ場,	公園	0.3	(0.2~0.4)			
市		街	地	0.03	(0.01~0.1)			

出典:社団法人土木学会,2001.水理公式集[平成11年版]



全87区分の地層に対して、透水係数・間隙率・毛細管圧力・相対浸透率を設定

		風化・緩み区分毎の水理特性															
地層区分		風化・緩み区分1 (著しい風化・急斜面に生じた 著しい緩みゾーン)			風化・緩み区分2 (重力の影響で斜面に生じた 深い緩みゾーン)			風化・緩み区分3 (構造運動で生じた、わずかな 緩みゾーン)				新鮮部					
		透水係数 (m/s)	異方性 (v/h)	有効 間隙率	2相流 パラメータ	透水係数 (m/s)	異方性 (v/h)	有効 間隙率	2相流 パラメータ	透水係数 (m/s)	異方性 (v/h)	有効 間隙率	2相流 パラメータ	透水係数 (m/s)	異方性 (v/h)	有効 間隙率	2相流 パラメータ
陸域に分布する表土層:地表から厚さ1m	S	1.00E-03	1/10	0.4	В	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
海底堆積物:海底から厚さ20m	MR	1.00E-06	1	0.2	В	_	-	-	-	-	-	_	-	_	-	-	-
湖沼堆積物:湖底から厚さ10m	LD	1.00E-06	1	0.3	В	-	-	-	-	-	_	_	-	_	-	-	-
湖成層 湿地堆積物	AC	1.00E-08	1	0.15	Α	_	-	-	-	_	_	_	-	_	-	-	-
扇状地 崖錐 砂丘 モレーン 沖積表層 琉球石灰 火山岩屑	AG	1.00E-04	1	0.2	С	_	-	-	-	_	_	_	-	_	_	_	-
盛土 自然堤防 段丘 洪積の崖錐 更新世火山岩屑	DG	1.00E-05	1	0.2	С	_	-	-	-	_	_	_	-	_	-	-	-
厚い洪積層	DS	1.00E-05	1	0.2	С	_	_	-	-	_	_	_	-	_	_	_	-
鮮新統 洪積層下部	PP	1.00E-06	1	0.2	В	1.00E-06	1/10	0.15	В	1.00E-07	1/10	0.15	В	1.00E-08	1/10	0.05	В
鮮新統以外の第三紀層(中新統砂岩を除く)	TA	1.00E-06	1	0.2	В	1.00E-07	1/10	0.15	В	1.00E-08	1/10	0.05	В	1.00E-08	1/10	0.05	Α
中新統砂岩	TS	1.00E-06	1	0.2	В	1.00E-06	1/10	0.15	В	1.00E-07	1/10	0.1	В	1.00E-08	1/10	0.05	С
中古生層 泥質部	PMA	1.00E-06	1	0.2	В	1.00E-08	1/10	0.02	В	1.00E-08	1/10	0.02	D	1.00E-09	1	0.01	С
中古生層 砂質部	PMS	1.00E-06	1	0.1	В	1.00E-07	1/10	0.05	В	1.00E-07	1/10	0.05	D	1.00E-09	1	0.01	С
中古生層 石灰岩	PML	1.00E-04	1	0.1	С	1.00E-04	1/10	0.1	С	1.00E-08	1/10	0.02	D	1.00E-09	1	0.01	В
付加体 泥質部 玄武岩ブロック	ACM	1.00E-06	1	0.1	В	1.00E-08	1	0.05	В	1.00E-08	1	0.02	D	1.00E-09	1	0.01	В
付加体 砂質部	ACS	1.00E-06	1	0.1	В	1.00E-07	1	0.05	В	1.00E-07	1	0.05	D	1.00E-09	1	0.01	В
付加体 石灰岩ブロック 変成岩中の石灰岩を含む	ACL	1.00E-04	1	0.1	С	1.00E-04	1	0.1	С	1.00E-07	1	0.05	С	1.00E-09	1	0.01	D
付加体 チャート	ACC	1.00E-05	1	0.1	С	1.00E-07	1	0.05	С	1.00E-08	1	0.02	D	1.00E-09	1	0.01	D
オフィオライト	OF	1.00E-06	1	0.1	В	1.00E-09	1	0.02	В	1.00E-10	1	0.005	D	1.00E-10	1	0.005	D
完新世(H)の降下テフラ	AT	1.00E-05	1	0.3	В	1.00E-05	1	0.3	В	1.00E-05	1	0.3	D	1.00E-05	1	0.4	D
中新世~前期更新世(Q1)の火山岩屑	MPVC	1.00E-05	1	0.1	С	1.00E-07	1	0.05	С	1.00E-07	1	0.05	С	1.00E-09	1	0.02	D
貫入岩	INT	1.00E-06	1	0.1	С	1.00E-07	1	0.05	С	1.00E-07	1	0.05	С	1.00E-08	1	0.05	D
第四紀の火山岩	QVL	1.00E-05	1	0.1	С	1.00E-05	1/10	0.05	С	1.00E-06	1/10	0.05	С	1.00E-07	1	0.05	D
中生代~新第三紀火山岩類 火砕流堆積物を含む	MTV	1.00E-05	1	0.1	С	1.00E-07	1/10	0.05	С	1.00E-07	1/10	0.05	С	1.00E-09	1	0.02	D
第四紀の火砕流堆積物	QPF	1.00E-05	1	0.2	С	1.00E-06	1/10	0.1	С	1.00E-07	1/10	0.05	С	1.00E-09	1	0.02	D
花崗岩 閃緑岩 花崗岩質片麻岩	GR	1.00E-05	1	0.2	В	1.00E-08	1	0.05	В	1.00E-09	1	0.01	D	1.00E-10	1	0.005	D
苦鉄質深成岩変成岩等通常の基盤岩	CBR	1.00E-06	1	0.1	В	1.00E-08	1	0.05	В	1.00E-09	1	0.01	D	1.00E-10	1	0.005	D
砂質・珪質な基盤岩(変成岩)	SBR	1.00E-05	1	0.1	С	1.00E-06	1	0.1	С	1.00E-08	1	0.02	В	1.00E-10	1	0.005	С

解析条件(2相流パラメータ、熱物性)



水飽和率(-)

	熱伝導率 [W/m/K]	比熱 [J/g/K]
風化・緩み区分1の全てと堆積層群	1.0	0.8
風化・緩み区分2、3と新鮮部	3.0	0.9





国土水循環モデルに組み込まれている全ての情報を再利用 し、ある部分領域を取り出して(ネスティング)、再度 バックグラウンド解析を行うことも!



• 第二次国土水循環モデルの開発

解析条件・手順

• 解析結果

• 国土水循環モデルの利用例

今後に関して

得られる主な出力情報



流動経路とかん養量

2015/12/3

- 地表付近に1,000m間隔で配置した粒子の3
 次元流動経路
- かん養域分布(地表面を通過する下向きの地下水フラックスが0.1mm/日より大きい地域)⇒降水量の空間分布と対応、主要な平野域は小さいかん養域または湧出域となる

涵養高(mm/日)

28

ー級河川流量の再現性

花词

- 全国一級河川の平均流量 の比較
- 観測流量と計算流量との 対応は概ね整合的
- 500m解像度による地形表 現のため、河道が適切に 表現されないような箇所 (特に低い流量の範囲)で 計算流量が小さくなる 傾向

上段図出典:

森ら, 2015. 流域の視点で捉える水循環モデリングと地下 水流動解析データの工学的利用, 地盤工学会誌(投稿中)



自由地下水位の再現性



図出典:森ら, 2015. 流域の視点で捉える水循環モデリングと地下水流動解析データの工学的利用, 地盤工学会誌(投稿中)

地上・地下を含めた流動経路(熊本地域を例に)







青線:地表水 赤線:地下水



地下温度分布



図出典:産業技術総合研究所, 2007.日本の熱水系アトラス

地下温度分布

- 深度約2,000mの温度分布
- 山間地は比較的低温、但 し湧水域は周囲のかん養 域より温度が高い
- 深部地下温度(地殻熱流量)
 の影響を受け、高温になっている地域





• 塩分濃度の等値面分布

200

km

- 暖色系の範囲は淡水性地下水が 海底へ湧出している地域
- 寒色系の範囲は反対に海水が陸 域深部へ押し込んでいる地域

400





• 第二次国土水循環モデルの開発

解析条件・手順



• 国土水循環モデルの利用例

今後に関して

国土水循環モデルデータの利用例

気象観測データの利用

- 北海道奥尻島における海岸構造物の淡水性地 下水の海底湧出に与える影響
- 愛知県松山平野における地盤改変に対する地 下水流動への影響



気象観測データの利用事例



海岸構造物による海底湧出量変化に関する数値実験

奥尻島南部沿岸域(松江地区)を対象とし、防潮 堤建設前後における陸域にかん養された淡水性地下 水の海底湧出量変化に着目

※土木学会第23回地球環境

シンポジウムにて発表



出典: <u>http://ishiikojiro.cocolog-nifty.com/photos/island/dsc01804.html</u>

海岸構造物による海底湧出量変化に関する数値実験



数値実験結果(建設前)



- 陸域にかん養された淡水性地下水は、<u>海岸付近に</u> おける地表面~深度3mの地下浅部では表土層中を 移動し、海岸線付近で湧出する
- <u>深部を移動する淡水性地下水は</u>、海側へ向かうほど流体密度差によって、次第に湧昇流に転じて海底に湧出する



松山平野における地盤改変の影響把握

- 松山平野において、広さ約47,000m²、深度20mの 地盤掘削工事を想定
- 国土水循環モデルから、地表水の初期・境界条件 を除く全データを切り出し、さらに水平方向の格 子分割を5mに細分化したモデルを構築
- 検証済みのモデルと国土モデルから作成した詳細
 モデルで、**工事前後の地下水状態を比較**
- **平衡状態**の解析結果で評価

※森ら, 2015. 流域の視点で捉える水循環モデリングと地下水流動解析データの 工学的利用, 地盤工学会誌に投稿中の内容

松山平野における地盤改変の影響把握

検証済モデル 詳細モデル(国土モデル)





- 検証済モデル: 1.4万m³/d 詳細モデル: 4.4万m³/d



• 第二次国土水循環モデルの開発

解析条件・手順



• 国土水循環モデルの利用例

今後に関して

国土水循環モデルのポイント

- 統一的なルールによって国土スケールのモデルを構築し、ある程度の検証がなされたものを予め準備しておくことで、速やかに解析を開始することが可能となる
- 多くの場合、対象とするエリアで得たい情報に対し、 求められる空間解像度のギャップが障壁となる⇒国土 水循環モデルから対象範囲を切り出した入れ子上の部 分領域モデルの構築
- 必ずしも精度の高い結果とはならない場合もありうるが、比較的速やかに知りたい結果を得ることができ、次のアプローチを考える基礎情報となる
- データの蓄積・更新・再利用⇒地質情報、気象情報等



