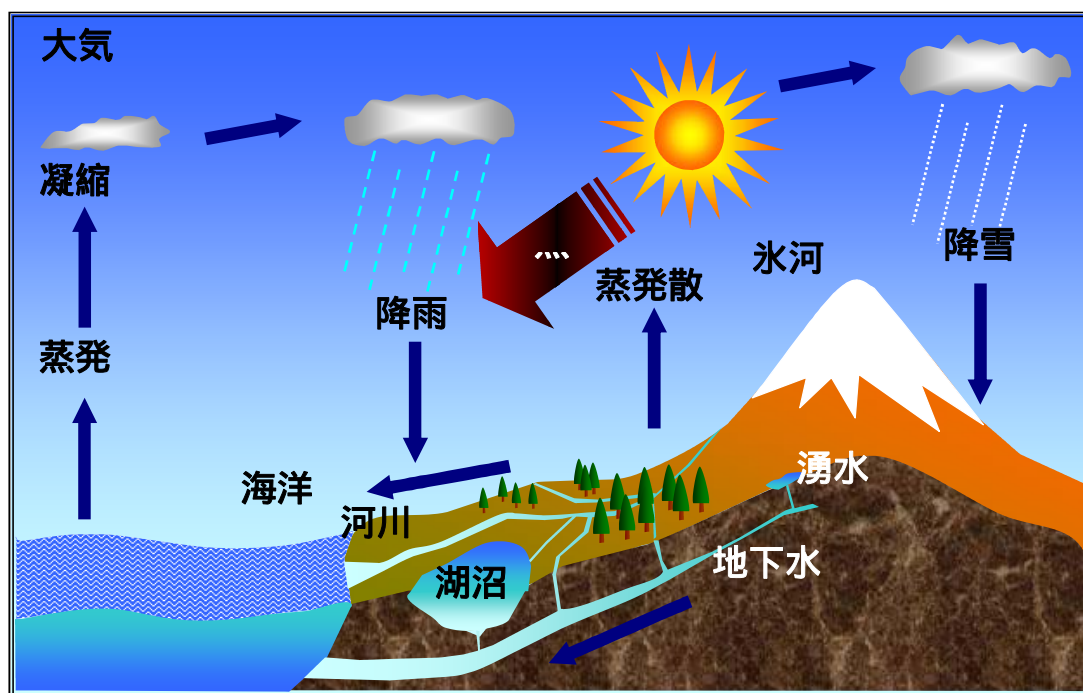


2. 木曽川水系における水循環構造に関する研究

水循環・まちづくりグループ
研究員 後藤勝洋

水循環とは？

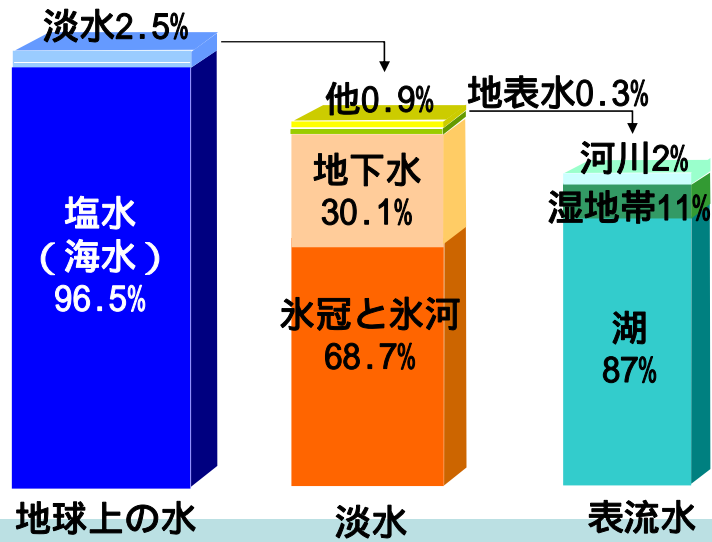
太陽エネルギーを原動力として、地球上で絶えず生じている水の循環



地球上の水資源量

- ・地球上に存在する水の量は、およそ $1386 \times 10^6 \text{km}^3$
- ・そのうち、約97%が海水で、**淡水はわずか3%未満**
- ・**淡水のうち**、氷河が約70%、**地下水が約30%**、**河川などの表流水はわずか0.3%**
- ・**河川水**だけで見ると地球上の**全水量の0.0002%**
- ・地球上に存在する**地下水の量は河川水の量の8,500倍**

地球上の水の構成比

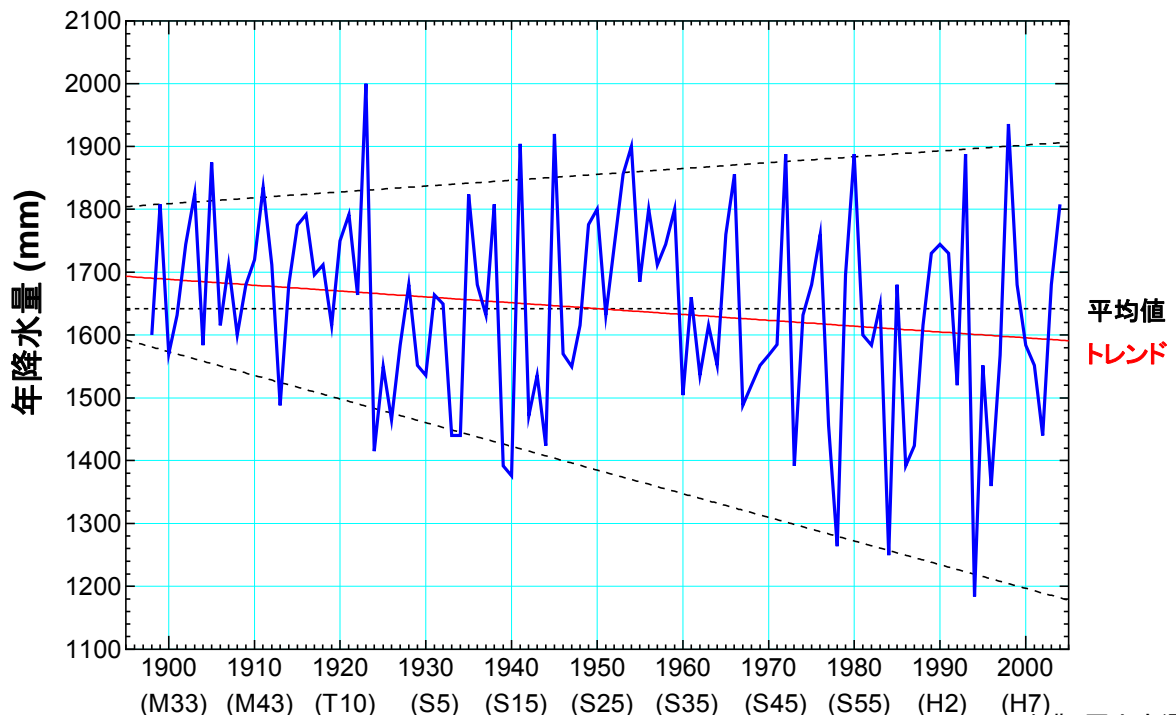


公益財団法人 リバーフロント研究所

本研究の背景

気候変動による渇水の規模、頻度の増加

→ **これまで前提と考えてきた気象、水理状況が変化**



公益財団法人 リバーフロント研究所

出典: 国土交通省

本研究の背景

地下水を「公水」として位置づける動き

→水循環として、表流水と地下水を一体で考えていく
必要性

本研究の目的

○社会的要請:

将来の気候変動に対応した、治水、利水、河川環境の保全のバランスの取れた**適正な水資源管理の実現**

○課題:

表流水・地下水一体の水循環構造をどうやって把握するか? → **「地下水は目に見えない」**

○研究目的:

- ・木曾川水系(濃尾平野含む)をケーススタディとした、水循環解析モデルによる**表流水・地下水一体の水循環構造の見える化**
- ・人為的な水利用による水循環への影響の分析
→水循環解析モデルの利用性の検証

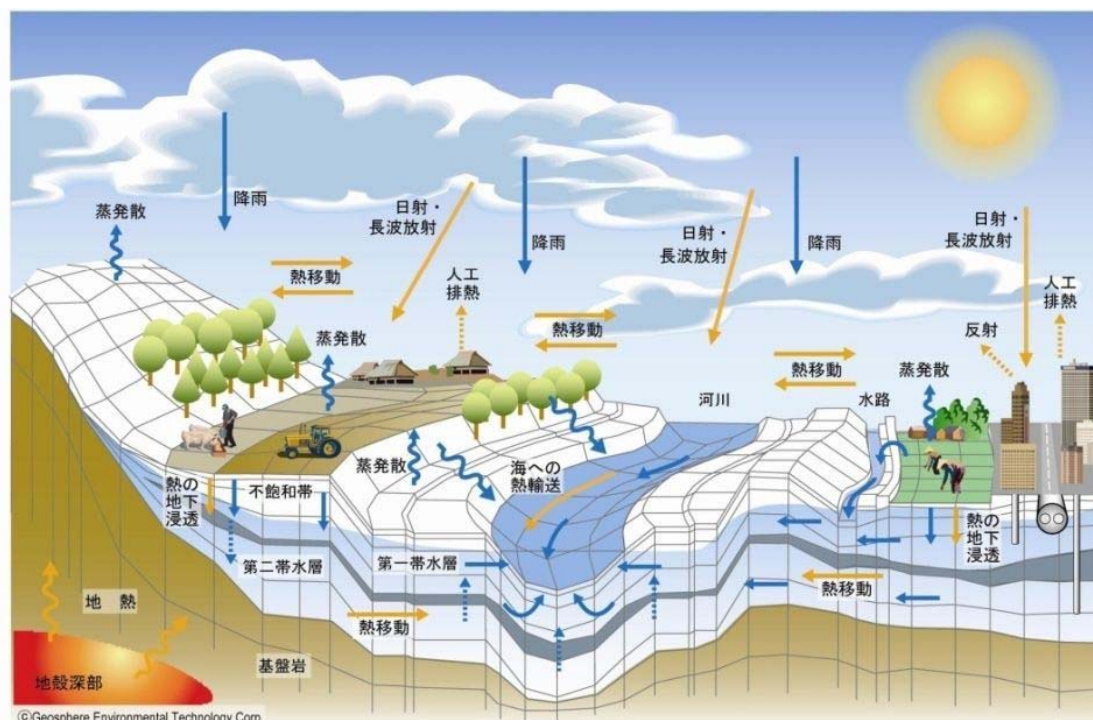
発表内容

- 1.水循環解析モデルでわかること
- 2.木曽川水系水循環解析モデルの構築
- 3.過去の木曽川水系水循環の再現
- 4.現状の木曽川水系水循環の再現
- 5.木曽川水系水循環構造の分析

1. 水循環解析モデルでわかること

本研究で用いる水循環解析モデル

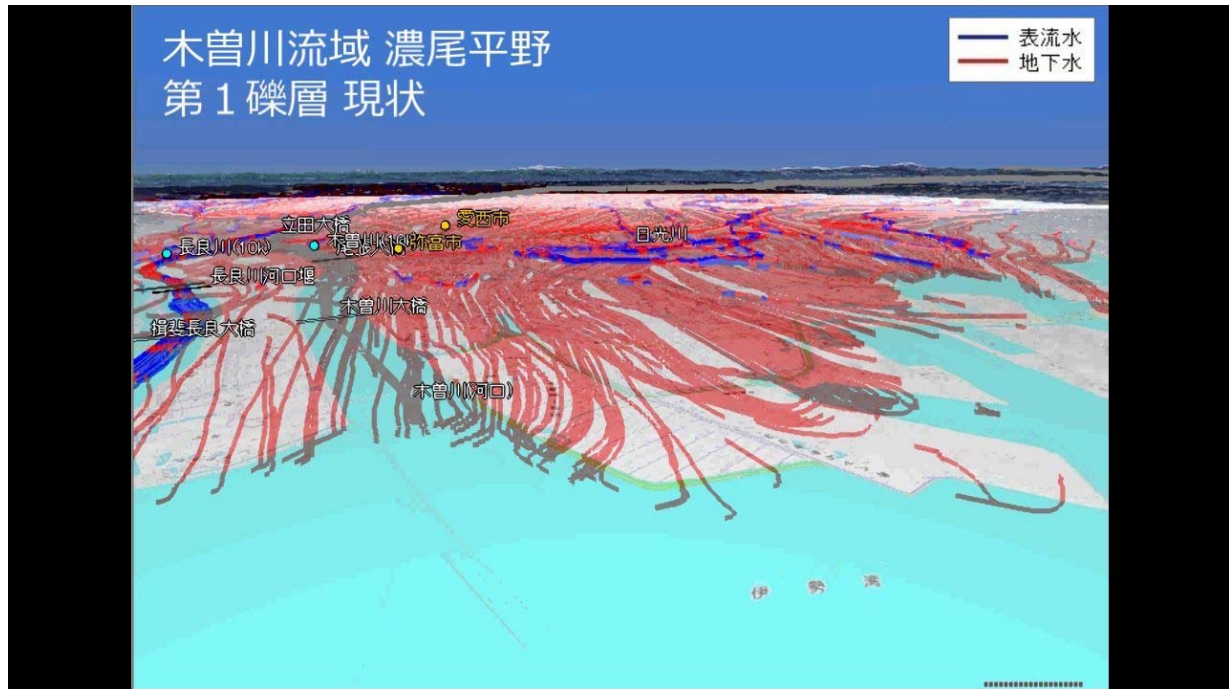
「統合型水循環シミュレータ」



1. 水循環解析モデルでわかること

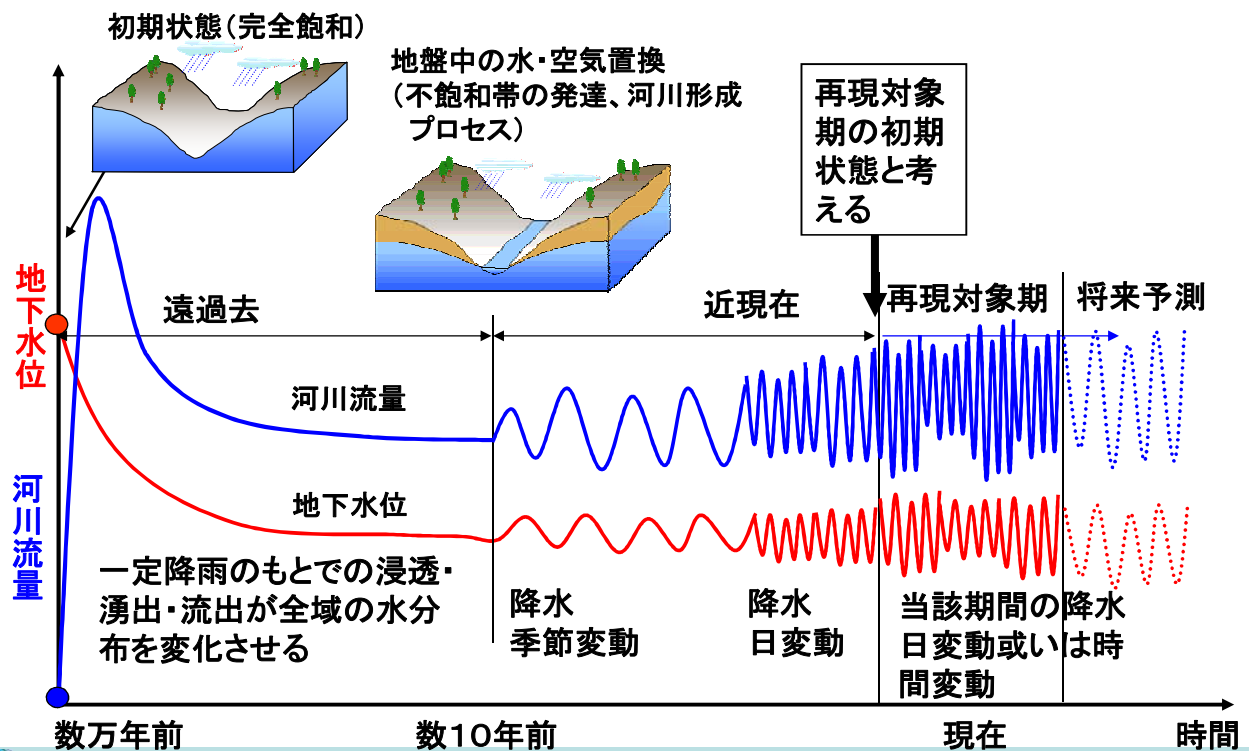
表流水・地下水一体の水循環構造がわかる

濃尾平野の表流水・地下水一体の水循環構造



1. 水循環解析モデルでわかること

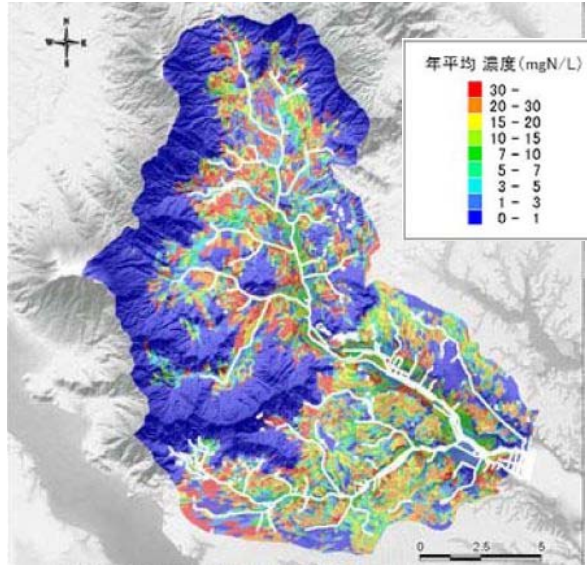
過去～現在～将来の水循環の変化が推定できる



1. 水循環解析モデルでわかること

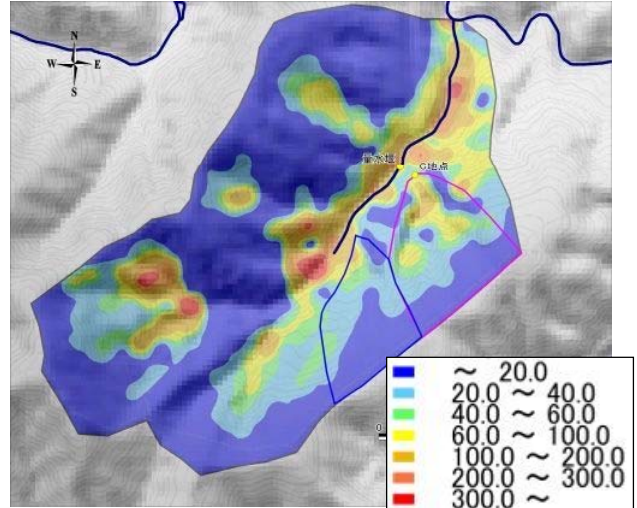
塩分や化学物質、土砂移動などの物質循環も扱える

営農による硝酸態窒素濃度の予測



出典: 久保田富次郎(農研機構九州沖縄農業研究センター)、農業農村における水資源・水環境管理—水・物質モデル—農林地流域を対象とした物理型三次元分布型水物質モデルの紹介、H23 農業農村工学会大会講演会講演要旨集

土砂移動量の再現

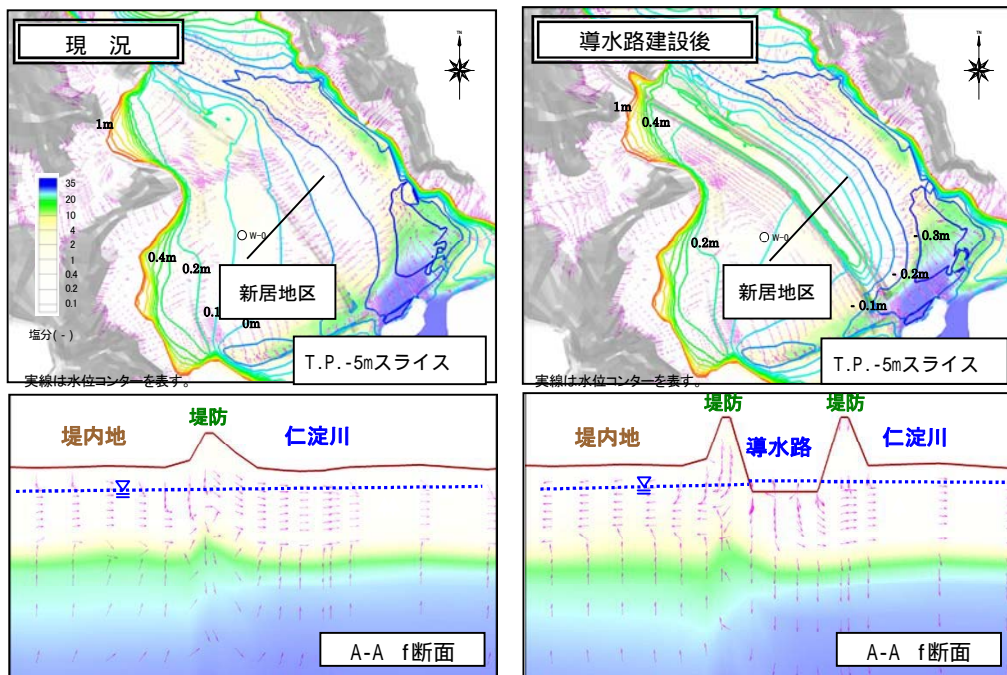


出典: 神奈川県自然環境保全センター、森林環境調査宮ヶ瀬ダム湖上流域水循環モデル改良業務報告書、H20.3

1. 水循環解析モデルでわかること

構造物の建設など、人為的改変による影響を予測できる

導水路建設による地下水流動及び塩分濃度変化の予測

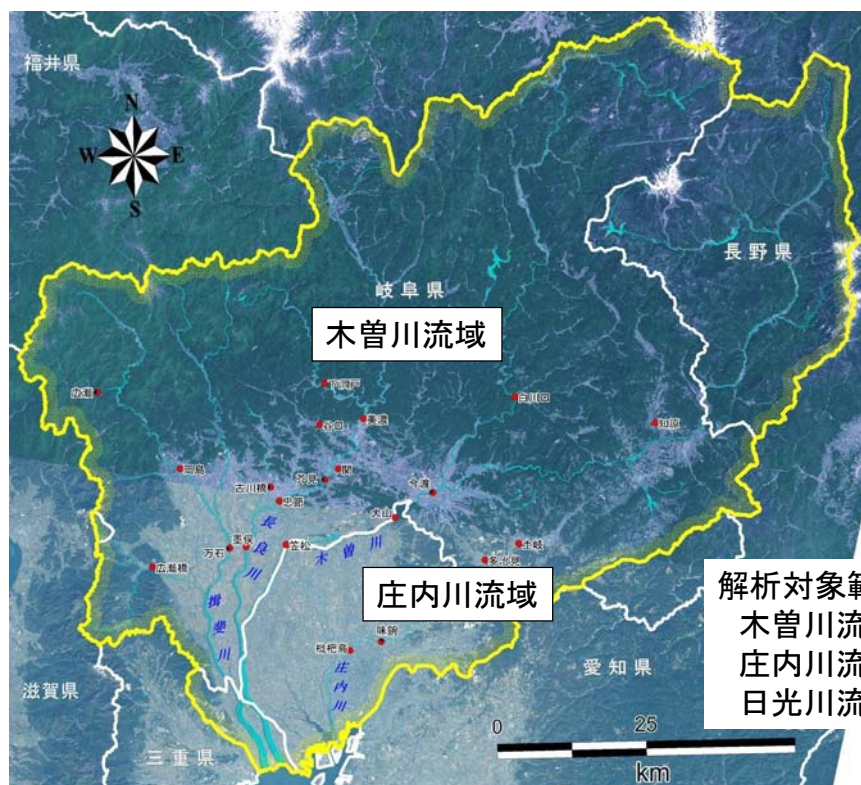


2. 木曽川水系水循環解析モデルの構築

1. 水循環解析モデルでわかること
2. 木曽川水系水循環解析モデルの構築
3. 過去の木曽川水系水循環の再現
4. 現状の木曽川水系水循環の再現
5. 木曽川水系水循環構造の分析

2. 木曽川水系水循環解析モデルの構築

解析対象範囲(木曽川流域+庄内川流域)



2. 木曽川水系水循環解析モデルの構築

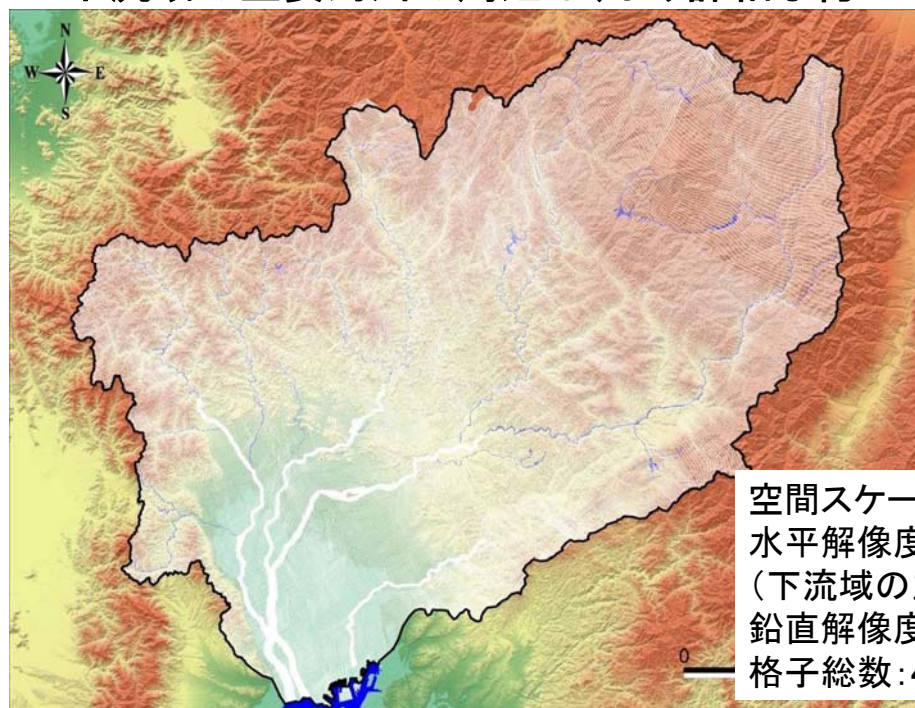
水循環解析モデルの基本条件

	解析対象範囲	分解能	備考
時間 スケール	2000年～2010年	10年平均	自然状態(過去)再現
	2003年～2007年	5年平均及び日単位	現状再現
空間 スケール	水平約10,400km ² +α	約250m(200m～ 500m)	水平 解像度
		下流域の主要河川は 約100m)	
	鉛直約2km	24層	鉛直 解像度
格子数	全格子数4,870,272 (平面格子数202,424)		—

2. 木曽川水系水循環解析モデルの構築

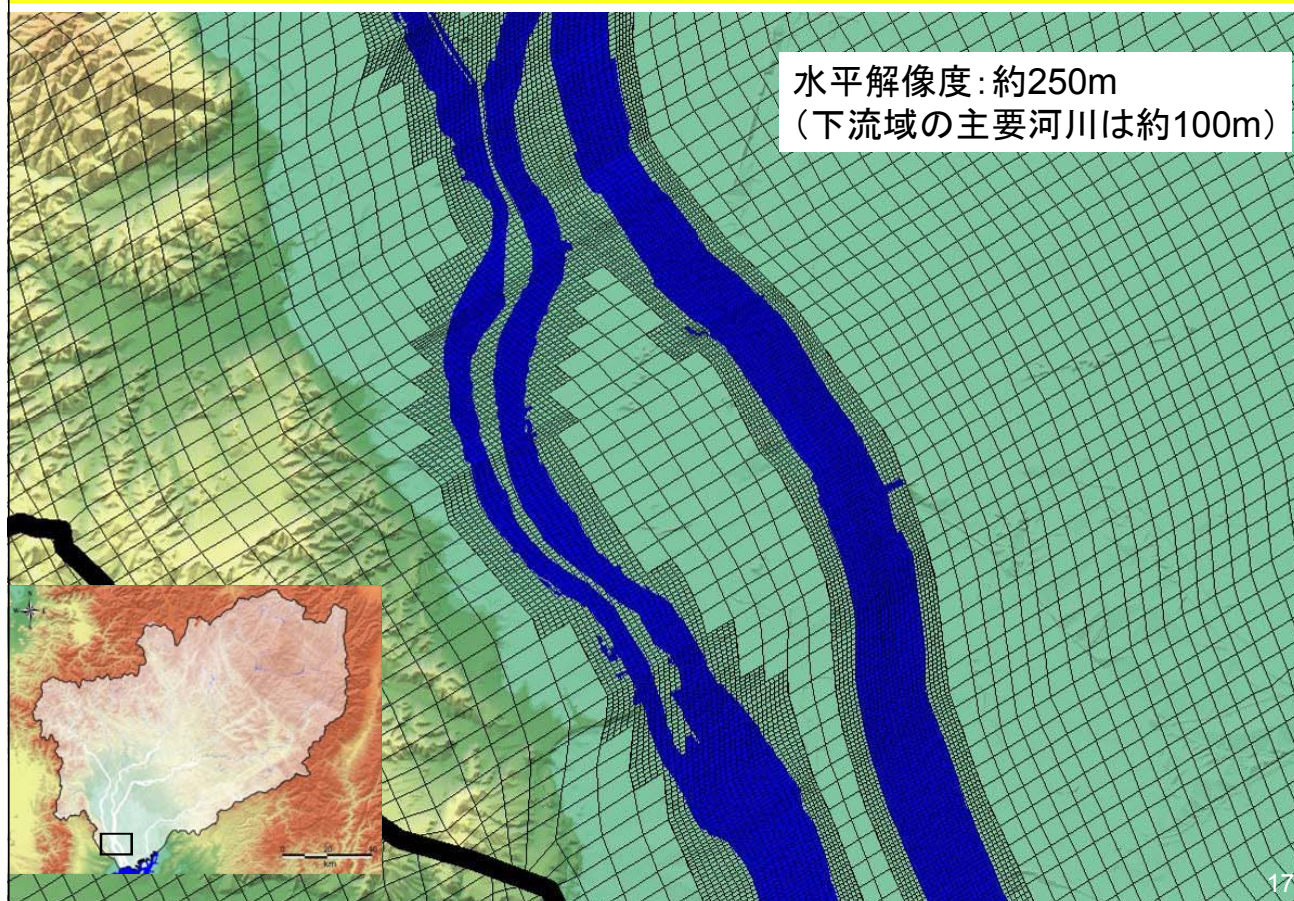
計算格子の設定

- ・主要河川の河道スケールに合わせて、約250m格子に設定
- ・下流域の主要河川の周辺は、より詳細な約100m格子に設定



空間スケール: 約10,400km²+α
 水平解像度: 約250m
 (下流域の主要河川は約100m)
 鉛直解像度: 24層
 格子総数: 4,870,272

2. 木曽川水系水循環解析モデルの構築



2. 木曽川水系水循環解析モデルの構築

水循環解析モデル用いたデータ

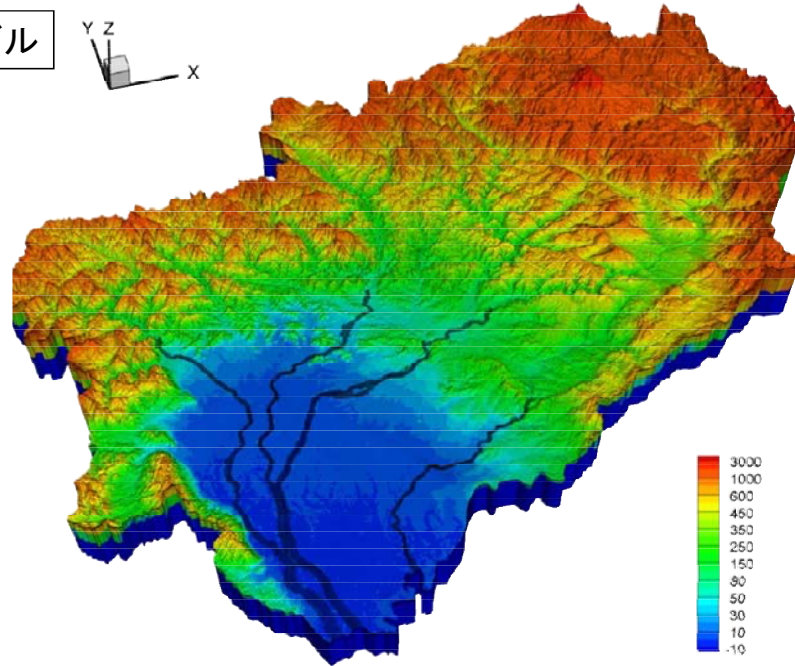
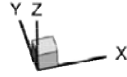
項目		データ
入力データ		
気象	降水・積雪	気象庁アメダス 国土交通省テレメータ
	気温・可照時間	気象庁アメダス (※蒸発散量に換算)
地形	陸域	国土地理院数値地図(5m・10m・50mメッシュ)
	河道断面	国土交通省横断測量・LP
土地利用	利用区分	国土交通省国土数値情報(100m・1kmメッシュ)
地質	表層地質	産業総合技術研究所20万分の1地質図 総理府資源調査委員会木曽川流域濃尾平野水害 地形分類図 国交省5万分の1土地分類調査
	地下地質	東海三県地盤沈下調査会・文部科学省・国土交通 省既往調査資料
水利用	ダム諸量	国土交通省等運用実績
	河川水取水量	河川水取水実績・水利権量(上水、工水、農水)
	地下水揚水量・位置	地下水揚水実績
検証用(解析結果との比較)データ		
水文	河川水位・流量	国土交通省テレメータ
	地下水位・位置	既往調査資料

2. 木曽川水系水循環解析モデルの構築

地形モデルの構築

- ・国土地理院基盤数値情報(5m・10m)をベースに作成
- ・主要な河川下流域の河道周辺は横断測量、LPを使用

地形モデル



公益財団法人 リバーフロント研究所

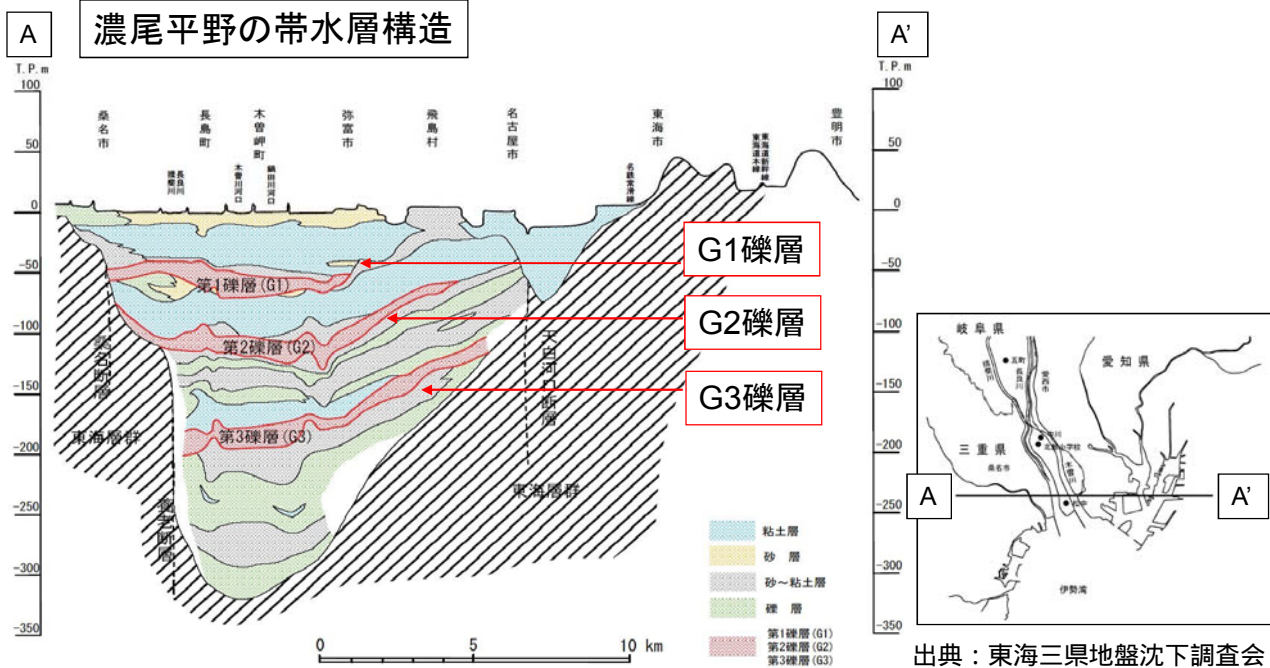
2. 木曽川水系水循環解析モデルの構築

濃尾平野地下の主要な帯水層 (G1・G2・G3礫層)

→水循環の再現性を確保するには、**帯水層の立体構造を正確にモデル化**することが重要

帯水層: 地下水によって飽和している地層

濃尾平野の帯水層構造



出典: 東海三県地盤沈下調査会

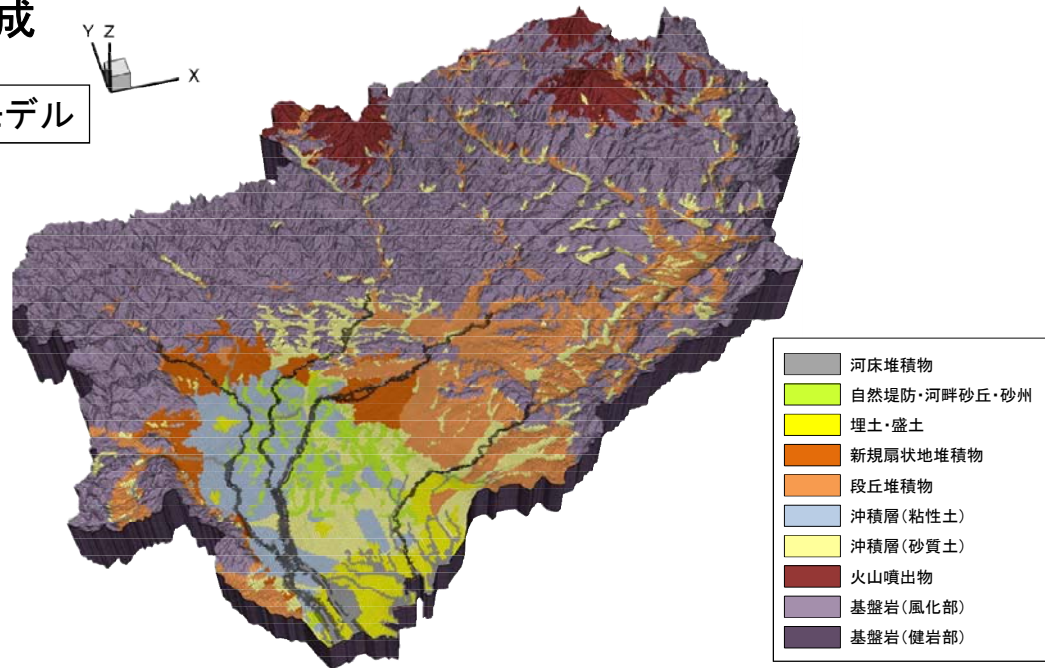
公益財団法人 リバーフロント研究所

2. 木曽川水系水循環解析モデルの構築

地質構造モデルの構築

表層地質分布は、産業総合技術研究所の20万分の1シームレス地質図、地下地質構造は、東海三県地盤沈下調査会の調査資料を基本に作成

地質構造モデル

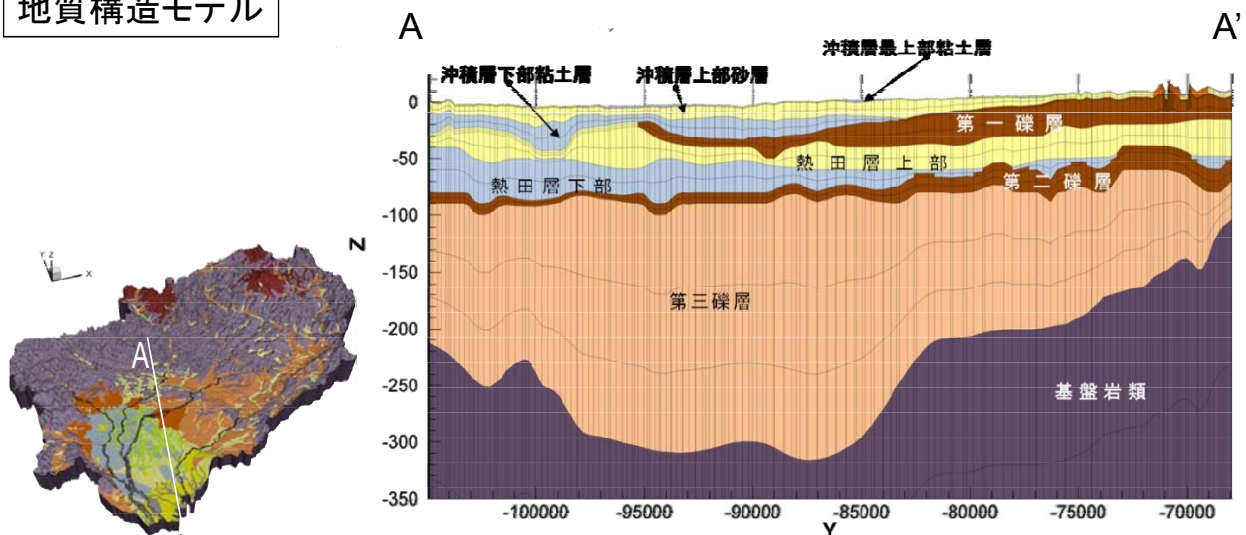


2. 木曽川水系水循環解析モデルの構築

地質構造モデルの構築

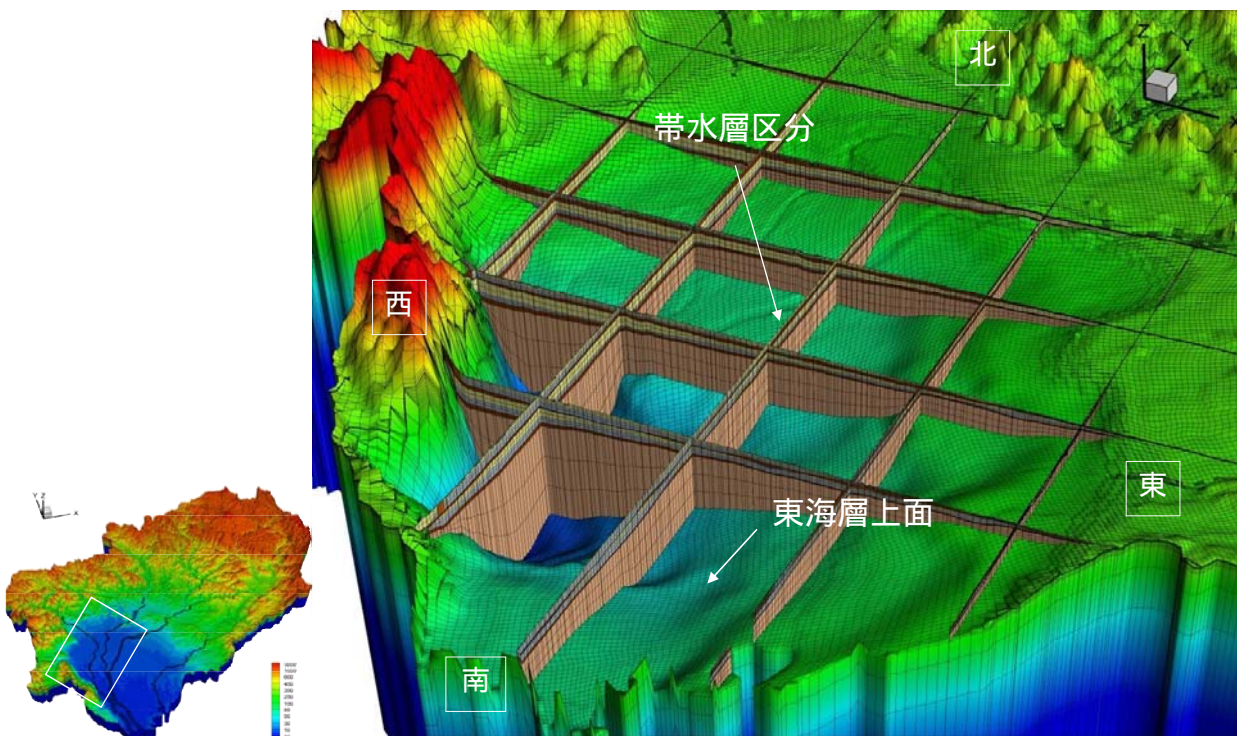
表層地質分布は、産業総合技術研究所の20万分の1シームレス地質図、地下地質構造は、東海三県地盤沈下調査会の調査資料を基本に作成

地質構造モデル



2. 木曽川水系水循環解析モデルの構築

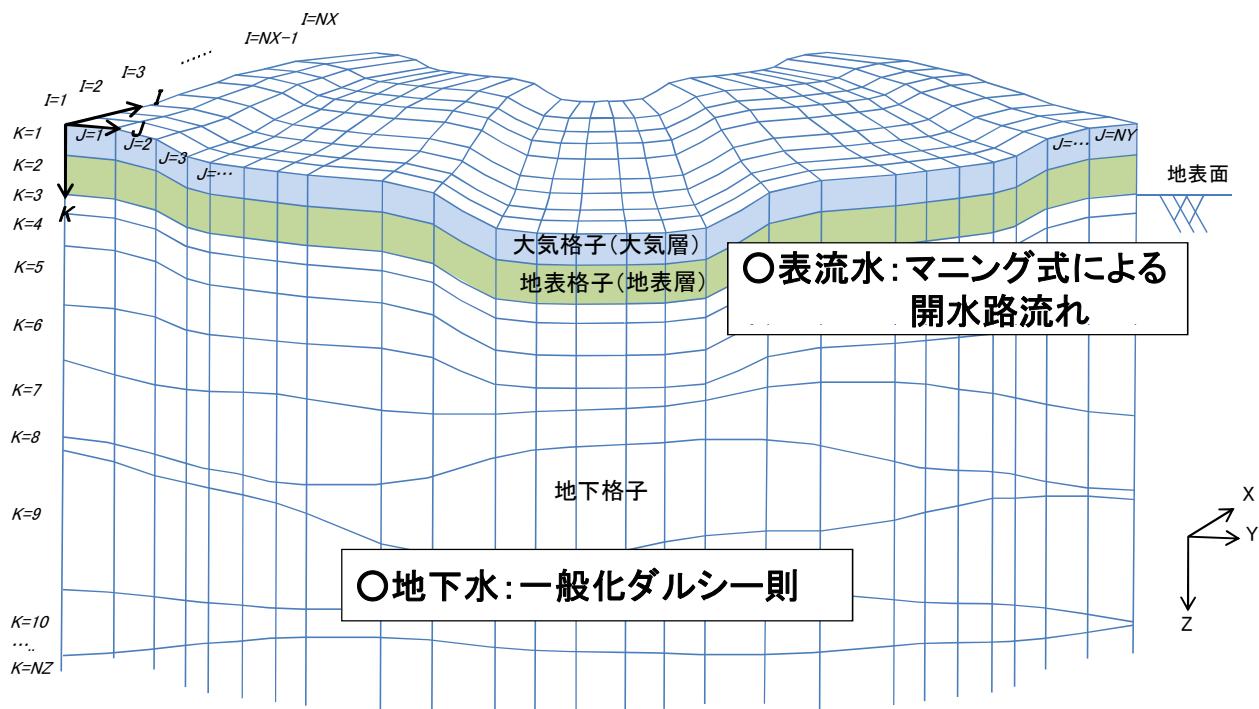
地質構造モデルの構築(帯水層の立体構造)



公益財団法人 リバーフロント研究所

2. 木曽川水系水循環解析モデルの構築

水循環解析の基本的な解法



数値解法: 積分型有限差分法

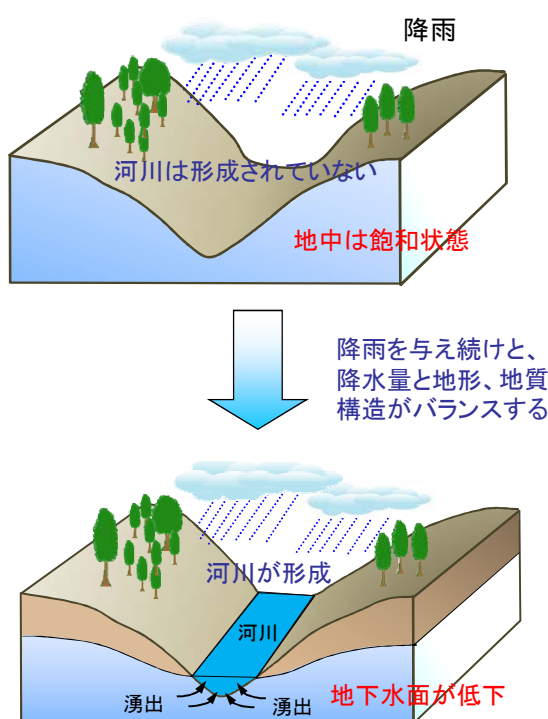
公益財団法人 リバーフロント研究所

3. 過去の木曽川水系水循環の再現

1. 水循環解析モデルでわかること
2. 木曽川水系水循環解析モデルの構築
- 3. 過去の木曽川水系水循環の再現**
4. 現状の木曽川水系水循環の再現
5. 木曽川水系水循環構造の分析

3. 過去の木曽川水系水循環の再現

人為的水利用のない自然状態(過去)の水循環を再現



地上に水がなく、地中を完全飽和にした状態を初期場として、流域の平均降水量を与え続ける。



低地では湧水が起こり、河川が形成され、高地では地盤内に空気が侵入し、地下水面が低下する。



降水量と地形、地質構造がバランスし、表流水、地下水が一体となった平衡状態の水循環が創出される。



・観測データと比較検証
・必要に応じて、パラメータを調整

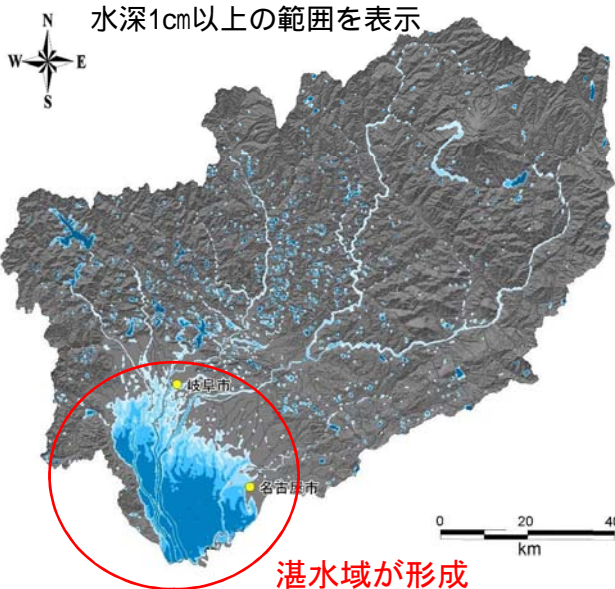
水利用のない過去の水循環の再現

3. 過去の木曾川水系水循環の再現

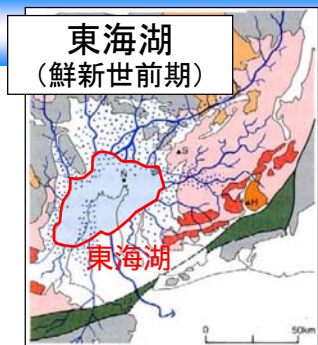
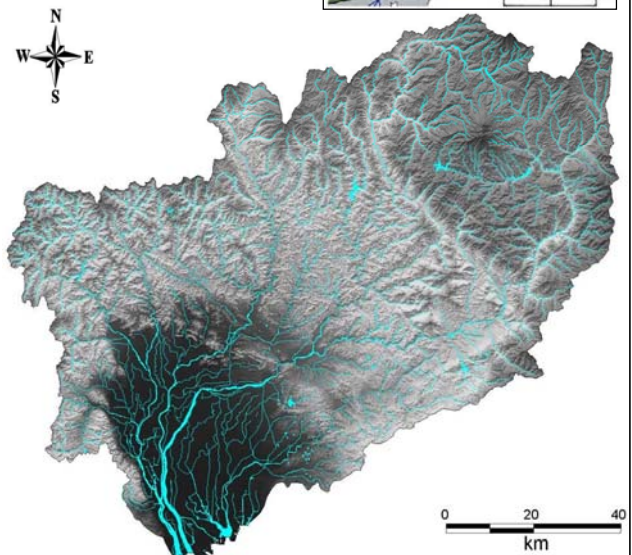
解析結果: 表流水分布(河道位置)の再現

- 濃尾平野内のゼロメートル地帯に広範な湛水域が形成
→現状は、人為的な排水により陸地が維持されている

解析結果



現河道位置

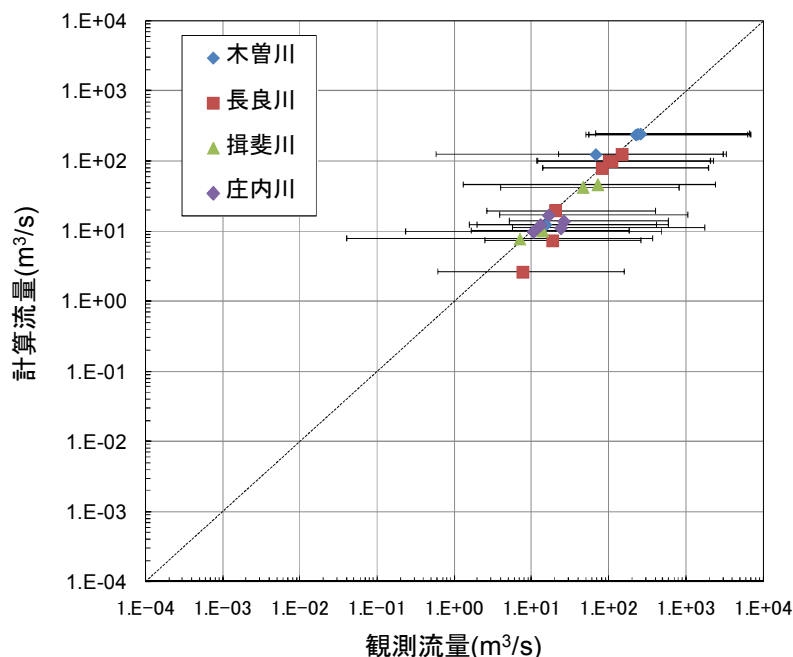


出典: 現河道(国土地理院 1/25000河道データ)
東海湖(株式会社クボタアーバンクボタNo.29)

3. 過去の木曾川水系水循環の再現

解析結果: 河川流量の再現

- 水利用が考慮されていない自然状態の解析流量は、水利用による影響が小さいと考えられる中・上流域の観測流量を概ね良好に再現



4. 現状の木曽川水系水循環の再現

- 1.水循環解析モデルでわかること
- 2.木曽川水系水循環解析モデルの構築
- 3.過去の木曽川水系水循環の再現
- 4.現状の木曽川水系水循環の再現**
- 5.木曽川水系水循環構造の分析

4. 現状の木曽川水系水循環の再現

人為的水利用を考慮した現状の水循環の再現

基本条件

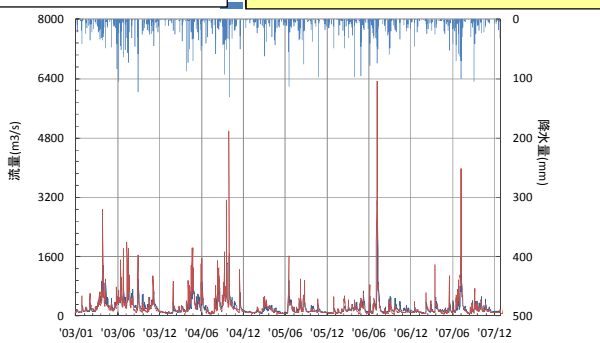
- 自然状態(過去)の水循環を初期場として、河川取水、地下水揚水、ダム運用などの水利用を考慮した非定常解析
- 再現対象期間は5年間(2003~2007年)、解析の時間スケールは日単位
- 河川取水量は実績データを基本とし、データが入手できなかったものは水利権量を使用
- 地下水揚水量は実績データを使用(行政界単位のデータなどを計算格子内で面積按分し、各格子に揚水量を配分)
- ダム運用は、貯水位がダム堤高さを超える期間にその超過量を放流する操作条件に簡便化

4. 現状の木曽川水系水循環の再現

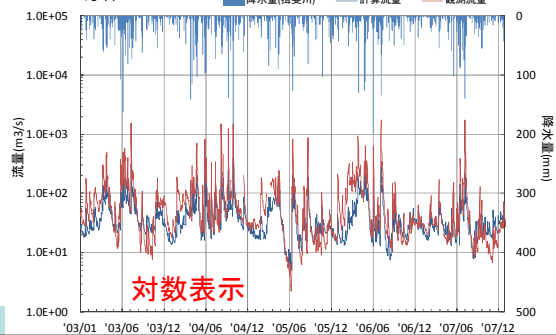
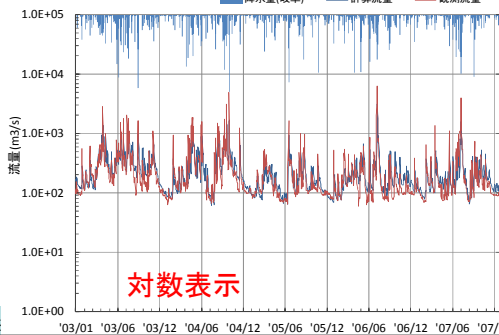
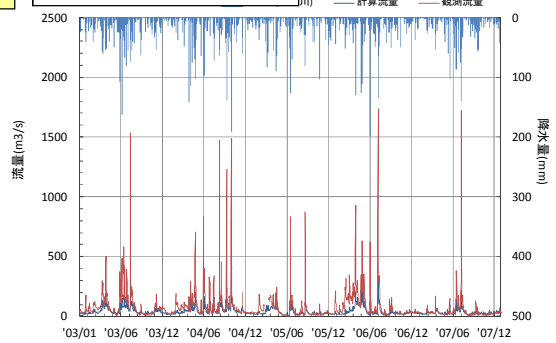
解析結果: 河川流量の再現

・計算流量は観測流量を概ね良好に再現している

笠松(木曽川)



万石(揖斐川)

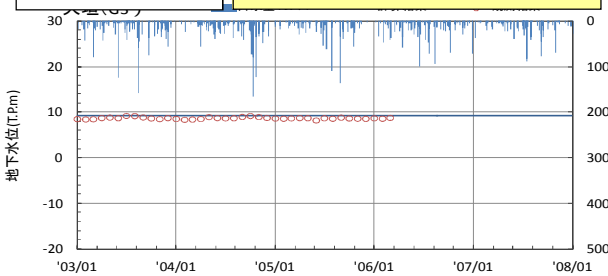


4. 現状の木曽川水系水循環の再現

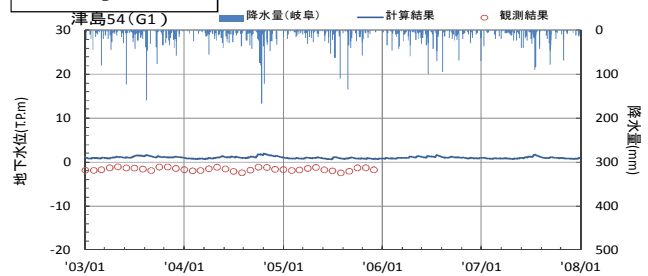
解析結果: 地下水位の再現

・計算水位は観測水位を概ね良好に再現している(差異5m以内)

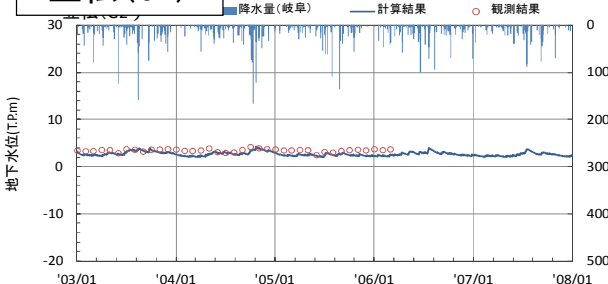
大垣(G3)



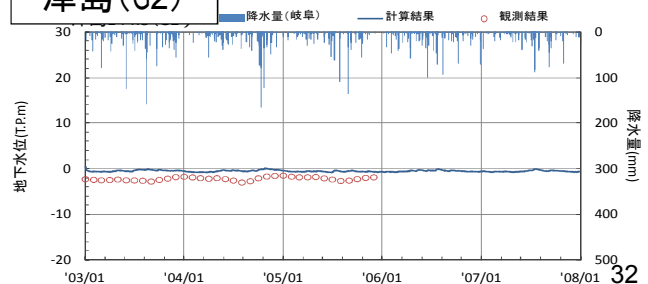
津島(G1)



笠松(G2)



津島(G2)

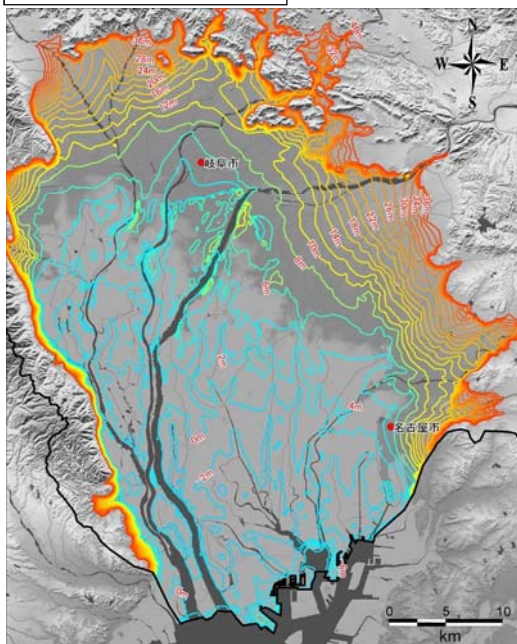


4. 現状の木曽川水系水循環の再現

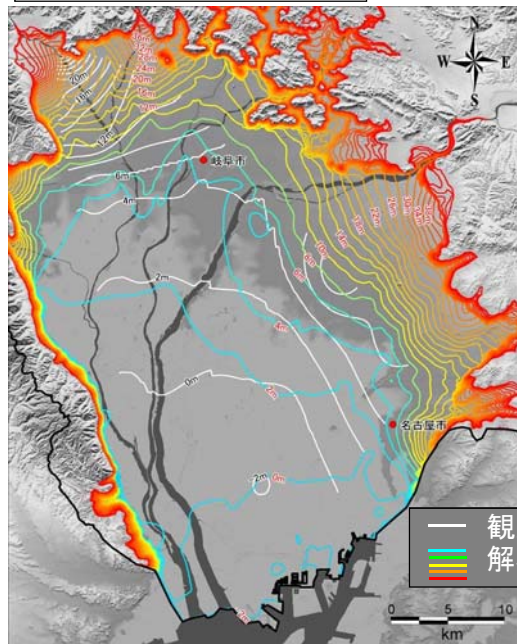
解析結果：地下水位コンターの再現

- ・計算水位のコンターは観測水位の導水勾配の傾向を概ね再現している

自由地下水面



G1礫層の地下水位

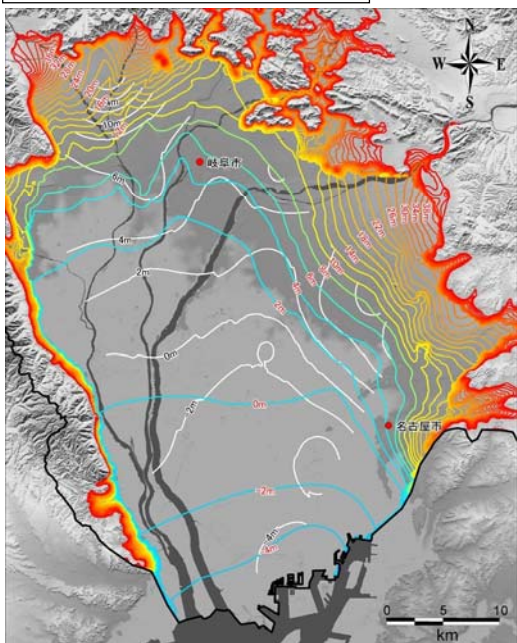


4. 現状の木曽川水系水循環の再現

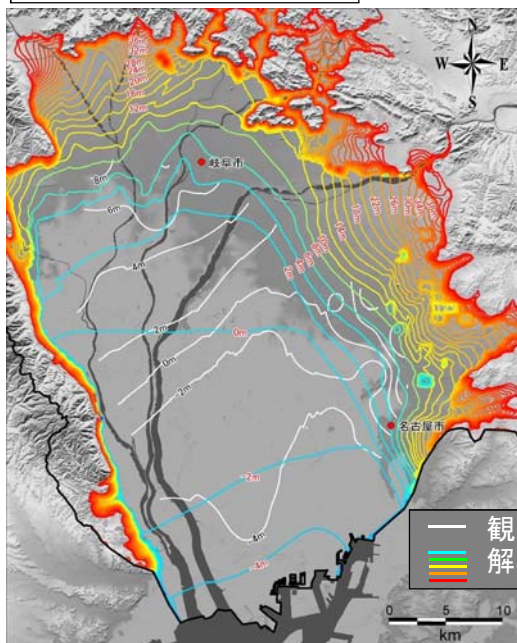
解析結果：地下水位コンターの再現

- ・計算水位のコンターは観測水位の導水勾配の傾向を概ね再現している

G2礫層の地下水位



G3礫層の地下水位



5. 木曽川水系水循環構造の分析

- 1.水循環解析モデルでわかること
- 2.木曽川水系水循環解析モデルの構築
- 3.過去の木曽川水系水循環の再現
- 4.現状の木曽川水系水循環の再現
- 5.木曽川水系水循環構造の分析

5. 木曽川水系水循環構造の分析

水利用に伴う流域水収支の変化

・木曽川流域における人為的な水利用による水循環への影響は、**河川から海への流出量の減少(2割減)**、**地下への伏没量の増加(1割増)**に見られる。

木曽川流域(庄内川流域含む)の水収支

要素	①自然状態	②現状	差(②-①)
降水量	226億m ³	226億m ³	(変化なし)
蒸発散量	54億m ³	54億m ³	(変化なし)
河川から海への流出量	172億m ³	140億m ³	-32億m ³
地下から海への流出量	0.2億m ³	1.8億m ³	+1.6億m ³
地下への伏没量	87億m ³	95億m ³	+8億m ³
地下からの湧出量	87億m ³	88億m ³	+1億m ³
河川水取水量 (※解析対象範囲外へ 導水する量を集計)	-	25億m ³	+25億m ³
地下水取水量	-	5億m ³	+5億m ³
地下水帯水量	1080億m ³	1080億m ³	(変化なし)

濃尾平野の水収支

①自然状態	②現状	差(②-①)
26億m ³	26億m ³	(変化なし)
9億m ³	9億m ³	(変化なし)
172億m ³	140億m ³	-32億m ³
0.2億m ³	1.8億m ³	+1.6億m ³
15億m ³	23億m ³	+8億m ³
15億m ³	17億m ³	+2億m ³
-	10億m ³	+10億m ³
-	5億m ³	+5億m ³
913億m ³	913億m ³	(変化なし)

上記水収支は検証期間の雨量、水利用等の平均値を与え続けた平衡状態の解析結果

5. 木曽川水系水循環構造の分析

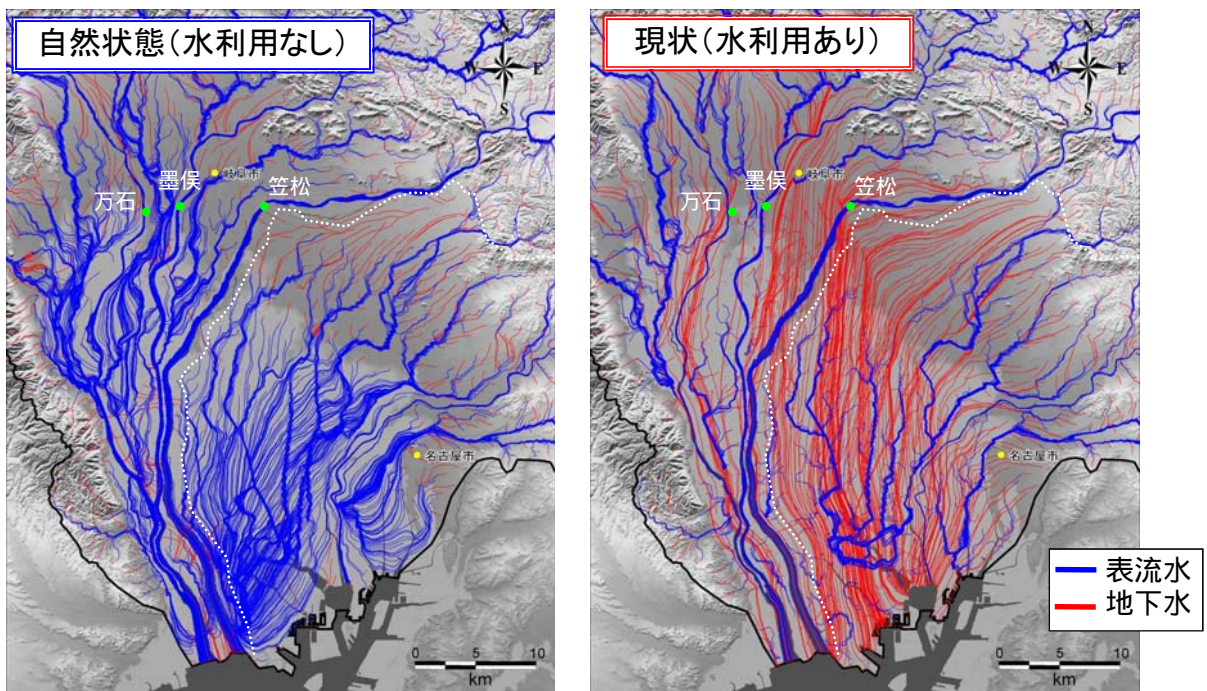
水利用に伴う流域水収支の変化(木曽川・庄内川流域)



5. 木曽川水系水循環構造の分析

表流水、地下水一体の水循環流線網(地表面を起点)

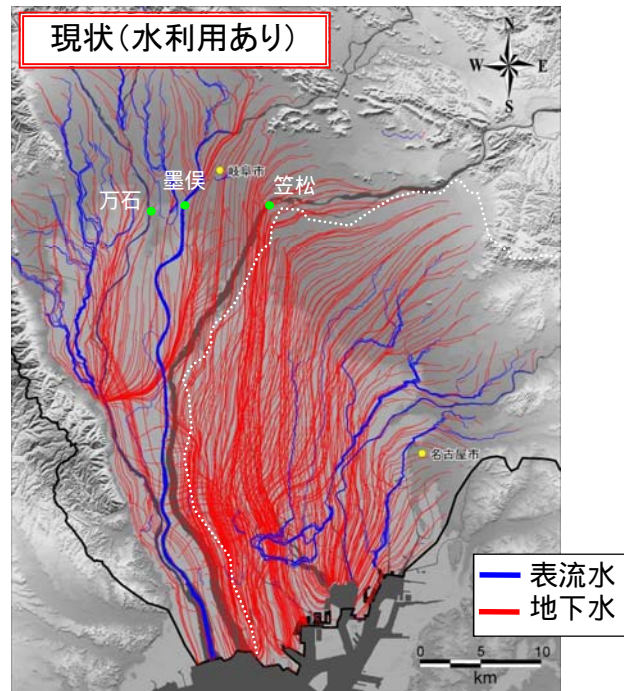
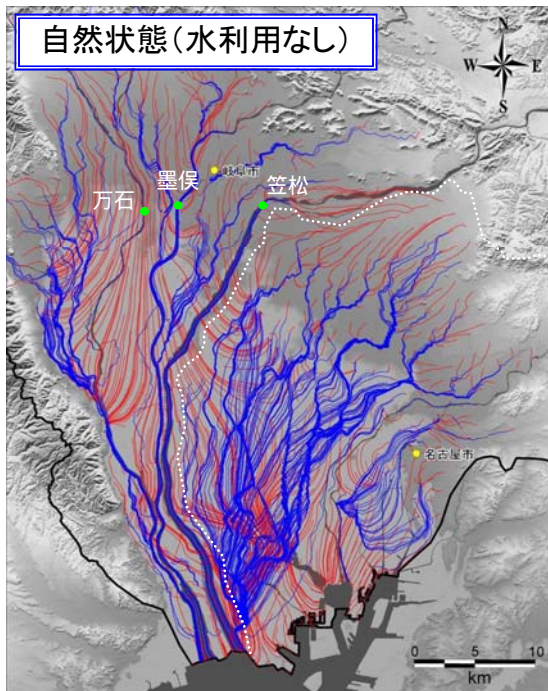
・自然状態の流線はほとんどが表流水として流れるが、現状の流線は地下水のまま海域へ流出する。



5. 木曽川水系水循環構造の分析

表流水、地下水一体の水循環流線網 (G1礫層を起点)

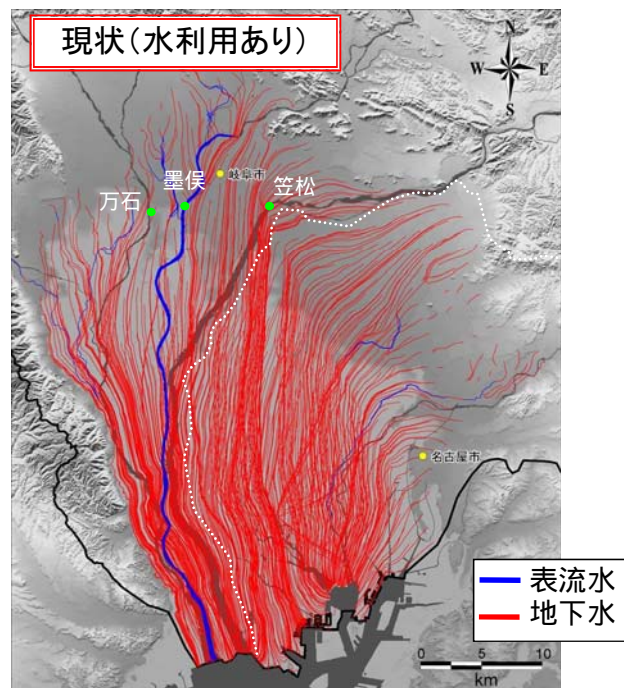
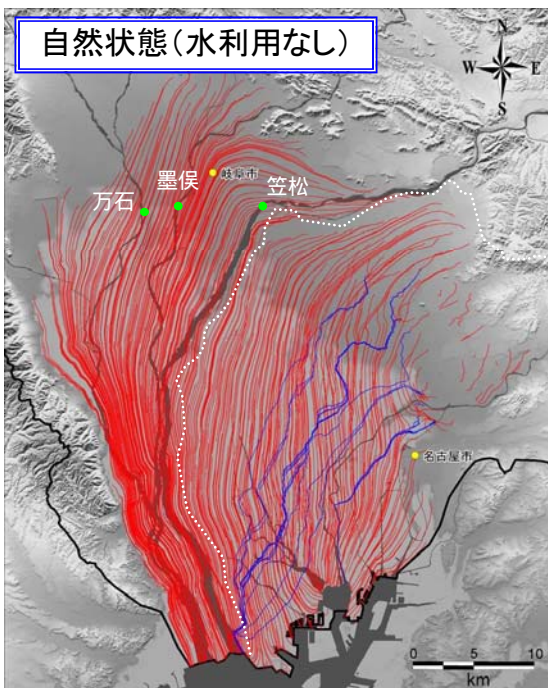
・自然状態は地表に湧き出す流線と地下水のまま海へ流出する流線が混在しており、現状は地下水のまま海域へ流出する流線が増加する。



5. 木曽川水系水循環構造の分析

表流水、地下水一体の水循環流線網 (G2礫層を起点)

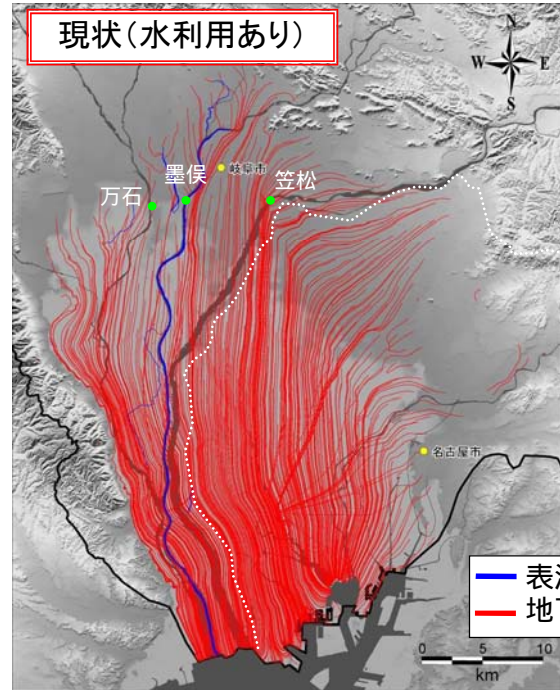
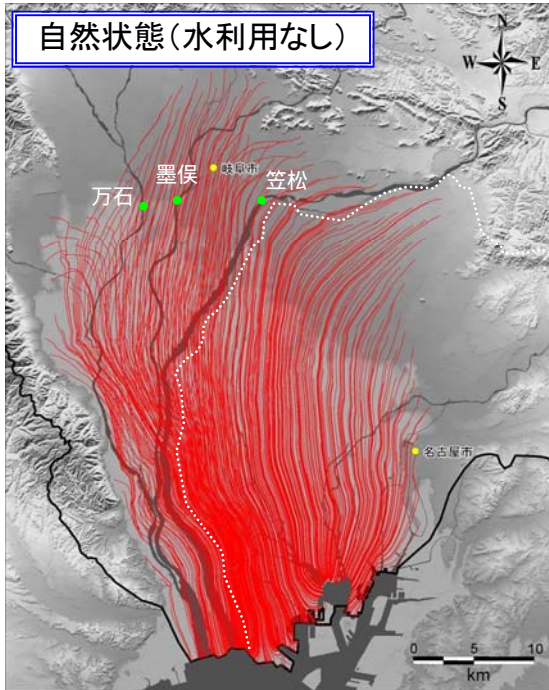
・自然状態と現状で流線の大きな変化はないが、現状では長良川に湧き出す流線が見られる。



5. 木曽川水系水循環構造の分析

表流水、地下水一体の水循環流線網 (G3礫層を起点)

- ・G2礫層と同様、自然状態と現状で流線の大きな変化は見られない。



— 表流水
— 地下水

公益財団法人 リバーフロント研究所

解析値は平衡状態の結果 41

5. 木曽川水系水循環構造の分析

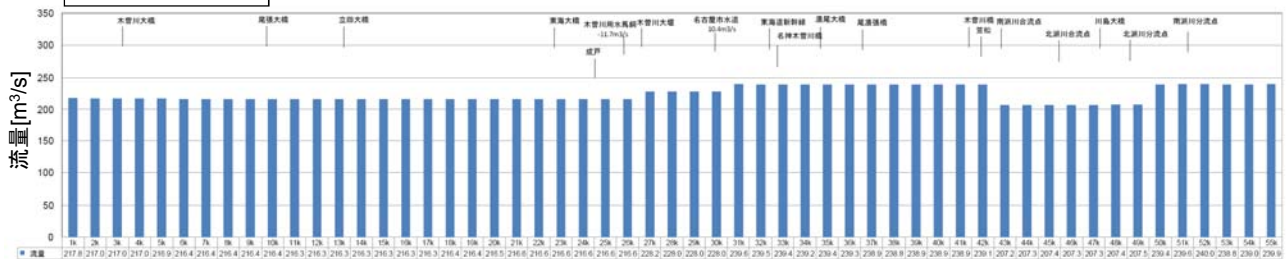
木曽川の縦断的な水収支 (湧出、伏没状況)

- ・木曽川全体として地下への伏没量の方が大きい (縦断積算量: $-0.5 \text{ m}^3/\text{s}$)。
- ・特に犬山～笠松間 (55k～40k) で伏没が卓越しており、新期扇状地堆積物の

分布する透水性の高い地域と対応する。

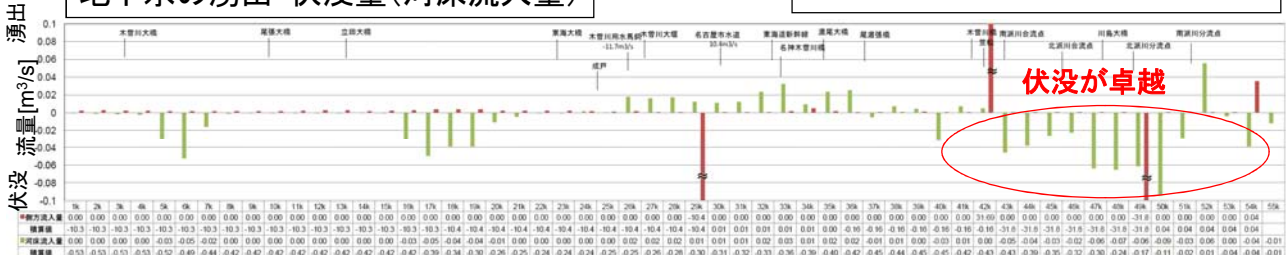
木曽川流量

← 流下方向



地下水の湧出・伏没量 (河床流入量)

— 河床流入量 — 側方流入量



公益財団法人 リバーフロント研究所

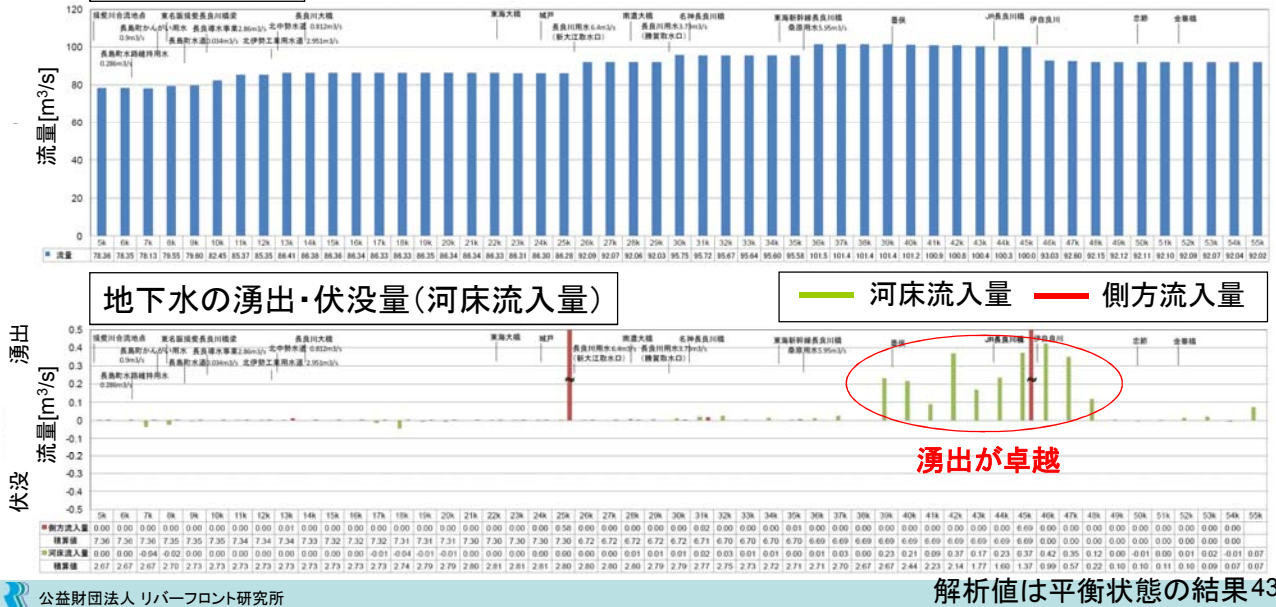
解析値は平衡状態の結果 42

5. 木曽川水系水循環構造の分析

長良川の縦断的な水収支(湧出、伏没状況)

- ・長良川全体として地下からの湧出量の方が大きい(縦断積算量:2.7m³/s)。
- ・特に鏡島大橋～墨俣間(48k～39k)で湧出が卓越し、濃尾平野北側に分布する

沖積粘土層の南縁からの湧出に対応する。
長良川流量 ← 流下方向

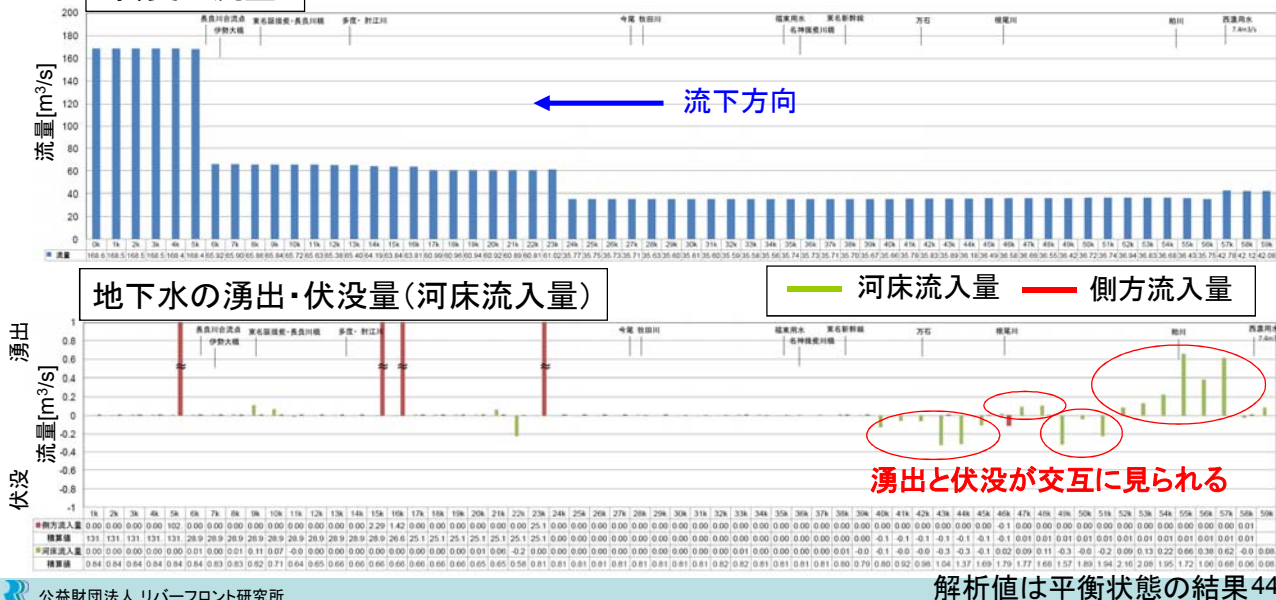


5. 木曽川水系水循環構造の分析

揖斐川の縦断的な水収支(湧出、伏没状況)

- ・揖斐川全体として地下からの湧出量の方が大きい(縦断積算量:0.8m³/s)。
- ・岡島～万石間(57k～40k)で湧出と伏没が交互に見られる複雑な構造を呈し

しており、万石付近の伏没域は扇状地堆積物の分布する透水性の高い地域と対峙する。
揖斐川流量



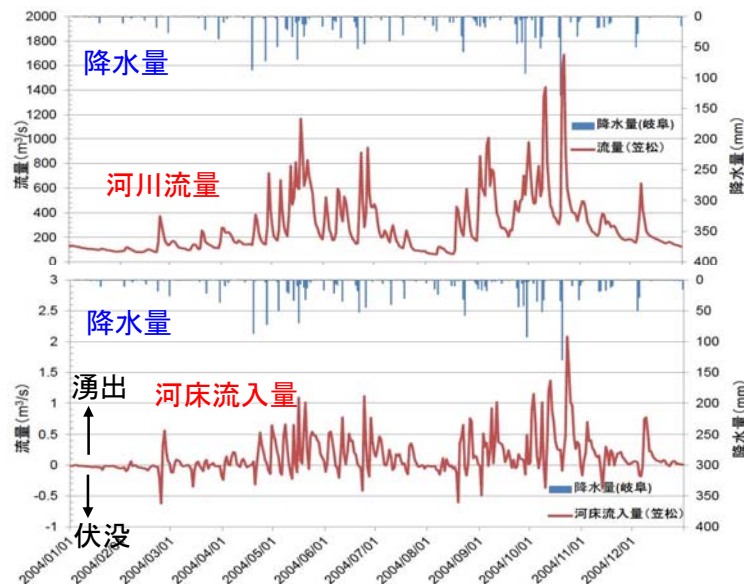
5. 木曾川水系水循環構造の分析

河川流量と地下水の湧出・伏没の応答関係

- ・河川流入量は河川流量の増加とともに一旦伏没し、その後、湧出に転じる傾向。
- ・河床流入量の変動幅は河川流量の規模に関して変動（笠松(木曾川): $2\text{m}^3/\text{s}$ 、墨俣(長良川): $1\text{m}^3/\text{s}$ 、万石(揖斐川): $0.4\text{m}^3/\text{s}$)。

河川流量
(笠松)

河床流入量
(笠松)



まとめ

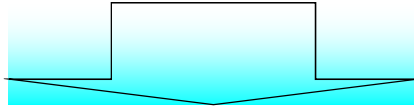
○本研究の成果

- ①木曾川水系(庄内川流域含む)の**水循環解析モデルを構築**、過去及び現状の水循環を再現し、観測データとの比較から**概ね良好な再現性**があることを確認した。
- ②水循環解析結果から木曾川水系の**表流水・地下水一体の水循環構造**に見える化し、以下のことが分析された。
 - ・人為的な水利用による影響は、表流水、地下水の水収支や比較的浅い層を起点とする流線網の変化に顕著に表れる。
 - ・木曾三川の各河川で地下水の湧出・伏没の状況が異なる。
- ③以上のことより、本研究で構築した水循環解析モデルは、**表流水・地下水一体の水循環の定量的な推定を可能**とするものであり、今後の水資源管理の検討に資する可能性がある。

まとめ

○今後の課題

- ①木曾川水系の水循環に関する分析(渇水、洪水の再現等)
- ②将来の気候変動、社会状況を考慮したシナリオ解析



表流水・地下水の一体管理に向けた検討