



災害時や危機的渇水時における 非常時地下水利用システムの開発

令和5年3月1日（水）

テーマIV 研究責任者
沖 大幹

サブテーマ1

東京大学（未来ビジョン研究センター）
芝浦工業大学
大阪公立大学
（公財）リバーフロント研究所

サブテーマ2

東京大学大学院（新領域創成科学研究科）
筑波大学
東京農工大学
（株）地圏環境テクノロジー
応用地質（株）

発表の概要

1. 研究開発の社会的背景
2. 全体概要
3. 地下水揚水量シナリオの開発
4. 3次元水循環モデルの開発
5. シナリオ解析
6. 非常時地下水利用システムの構成
7. 社会実装を実現するための取組
8. まとめ



1. 研究開発の社会的背景

○全国1741**市区町村の75.6%**(1316自治体)で震災後の**応急給水策として井戸を活用**する計画(地域防災計画)を策定



大量の揚水による地盤沈下

既存技術では**適正な地下水利用量を把握／設定不可能**

地盤沈下による井戸の抜け上がり
(濃尾平野)

適正な地下水利用による**非常時の有望な水源としての活用余地**への期待

非常時を含め地下水を資源として適正評価する機会の喪失

安価に採取・
利用可能な水源
地下水

地下水をある一定の考えの下で利用規制

利用規制により地盤沈下抑制に成功

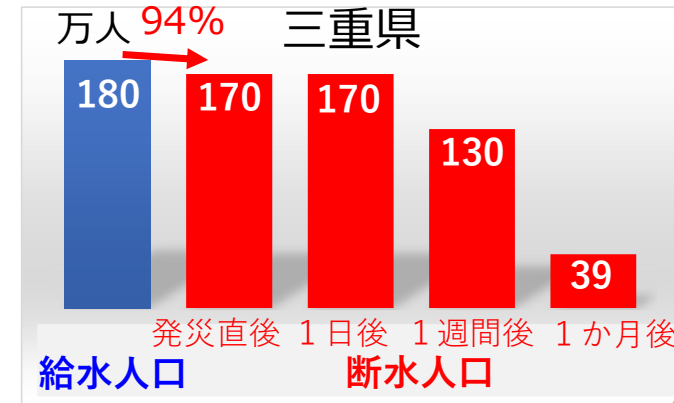
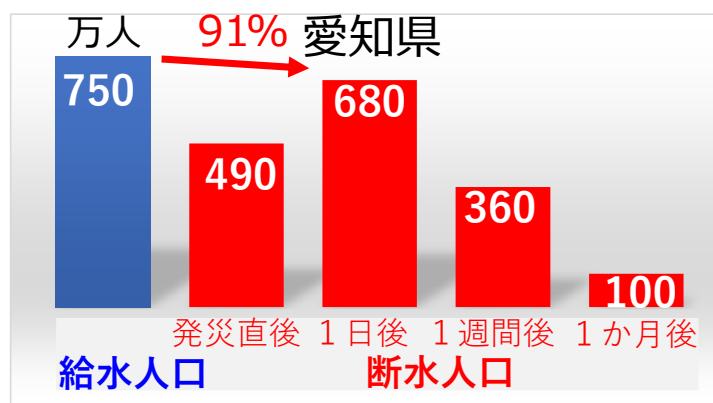
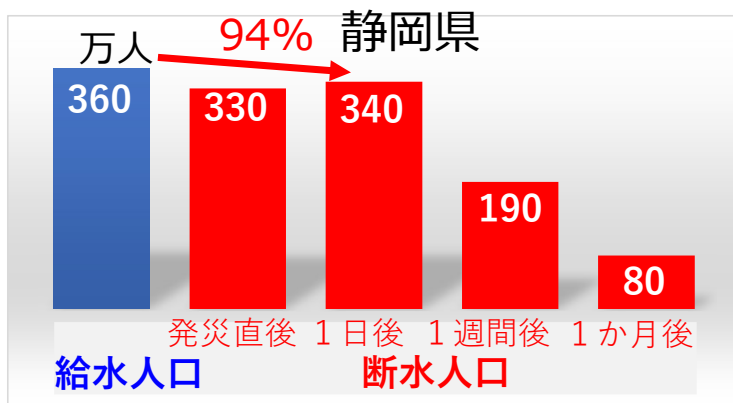
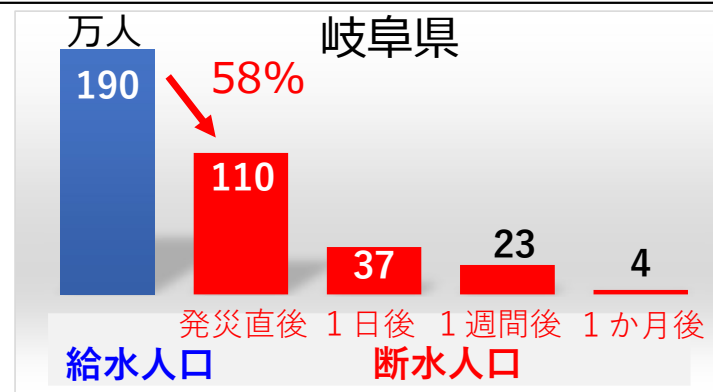
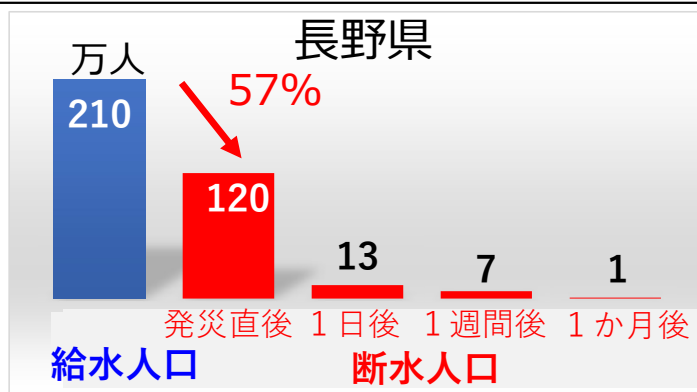
非常時/渇水時の適正可能利用な**地下水揚水量の事前把握/確認や定量評価**を可能とする技術の開発

1. 研究開発の社会的背景（想定される被害）

「南海トラフ巨大地震」で想定される被害

○南海トラフ巨大地震発生時は愛知県・三重県・静岡県で最大約1190万人の断水が発生
(給水人口1290万人の約9割)

○災害時には生活用水だけでなく、工業用水・農業用水、更には耕作地の除塩等に必要な水を含めた水供給について予め計画を立てておくことが必要

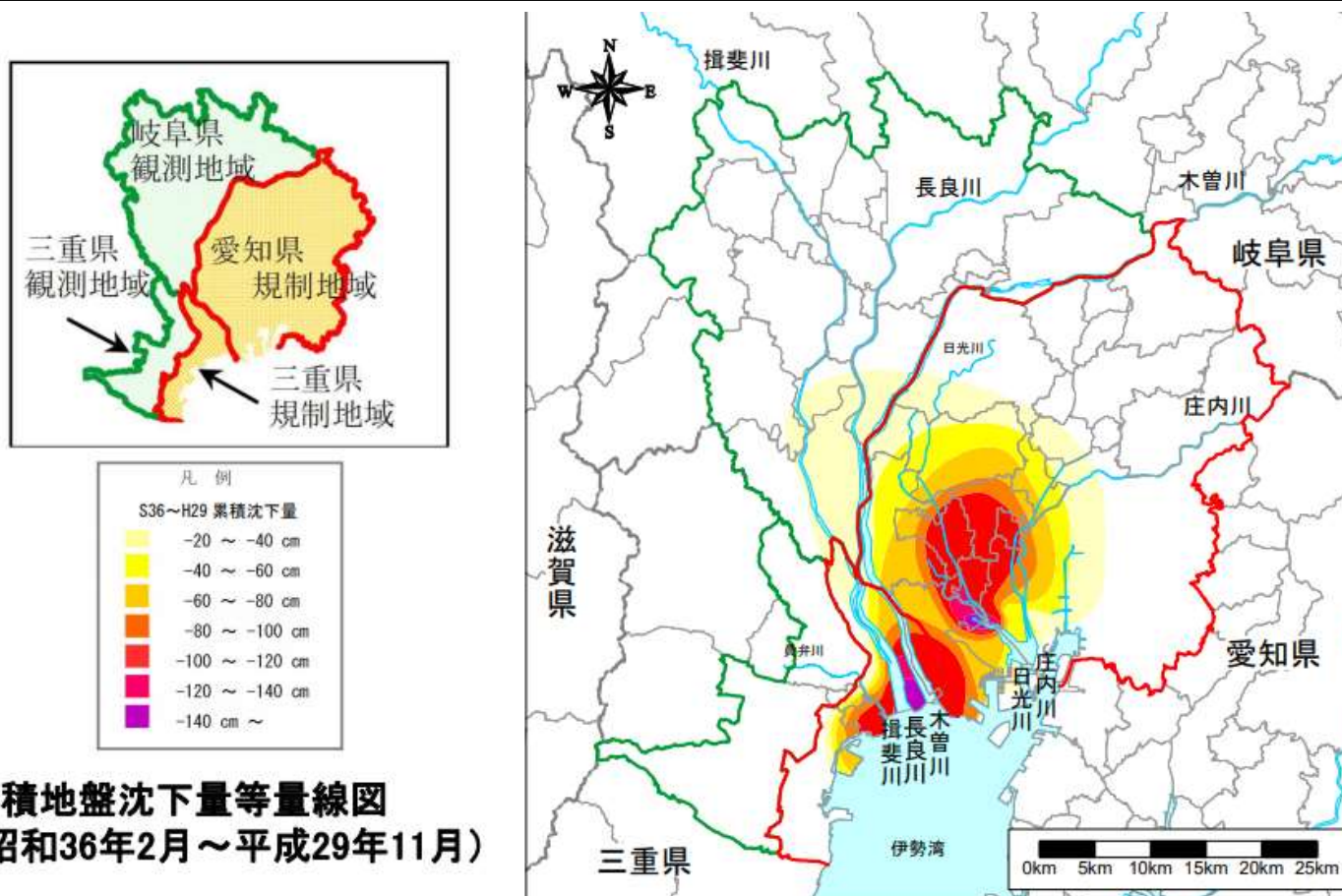


中央防災会議「南海トラフ巨大地震の被害想定について(第二次報告)」(平成25年3月18日)より

1. 研究開発の社会的背景（濃尾平野の地盤沈下）

○昭和36年以降の累積地盤沈下量は、昭和36年から昭和50年代初め頃まで沈下の進行が顕著であり、その後、地盤沈下は沈静化。木曽三川の河口部、庄内川流域で、最大1m以上に達する。

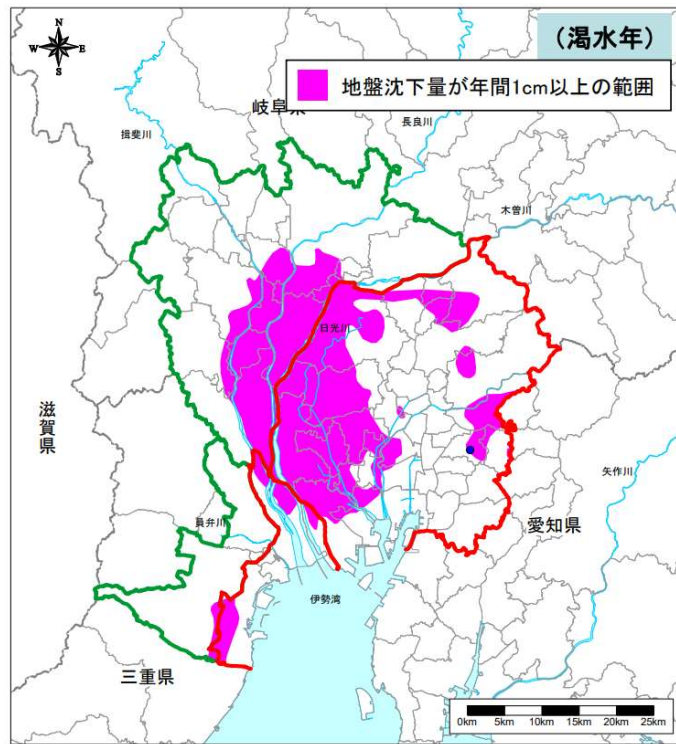
○昭和60年には濃尾平野地盤沈下防止等対策要綱が策定され、規制地域内の地下水採取に係る目標量（年間2.7億 m^3 ）が定められている。



地盤沈下防止等対策要綱に関する
関係府省連絡会議(令和2年2月26日)
資料より

1. 研究開発の社会的背景（災害時の地下水利用）

- 渇水であった平成6年には濃尾平野で年間1cm以上の地盤沈下が発生。
- 過去最大の節水により水源として地下水を利用した事業所が増加したことが一因。
(平成6年の年間揚水量は目標量より小さい2.4億m³/年であったが沈下が発生。
→ 地盤沈下の影響、経済の影響を踏まえ災害時の地下水利用方法を定めておくことが必要)



●: 名古屋気象観測所 年間降水量: 1,061mm (名古屋)
地盤沈下量が年間1cm以上の範囲図
(平成5年11月1日～平成6年11月1日)
地盤沈下防止等対策要綱に関する関係府省連絡会議
(令和2年2月26日) 資料より

原因

過去最大の節水
(最大値 上水道用水35%
工業用水65% 農業用水65%)

水源として地下水を利用した
事業所が増加

地下水位が一時的に大きく低下

地盤沈下が残留

行政の対応

尾張工業用水水道組合から
「水源確保や地下水揚水規制緩和」
を陳情

愛知県から環境庁、通商産業省に対し
「地下水揚水規制の一時的緩な緩和」
を要望

地下水揚水規制の緩和は実現できず
愛知県の 工業の被害 約303億円
農業の被害 約21億円

濃尾平野の地盤沈下地域を拡大させた平成6年異常渇水
地下水学会誌 第38巻第4号 大東憲二 植下協 より

水資源機構: 木曽川水系の流域の概要等について, 第1回 木曽川水系連絡
導水路事業の関係地方公共団体からなる検討の場 資料より

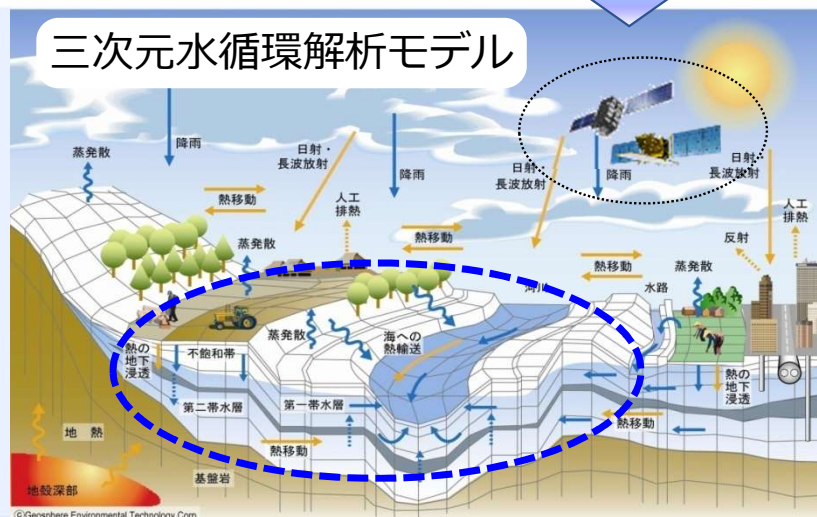
2. 全体概要(非常時地下水利用システムの概要)

水文・社会条件設定

気象,水循環,揚水など**計算境界条件**の設定

地域防災計画調査や**制度設計**および防災井戸実態調査

三次元水循環解析モデル

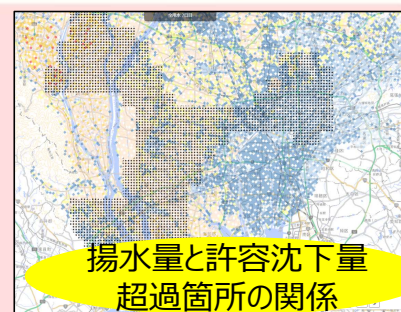
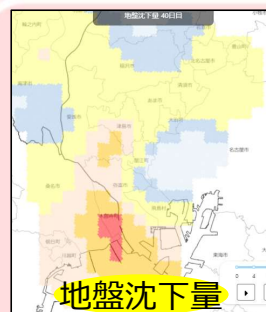


地下水くみ上げ量と地下水位変動の関係を予測

地下水位変動と地盤沈下の関係を導出

揚水の程度・期間と地盤沈下の関係を解析

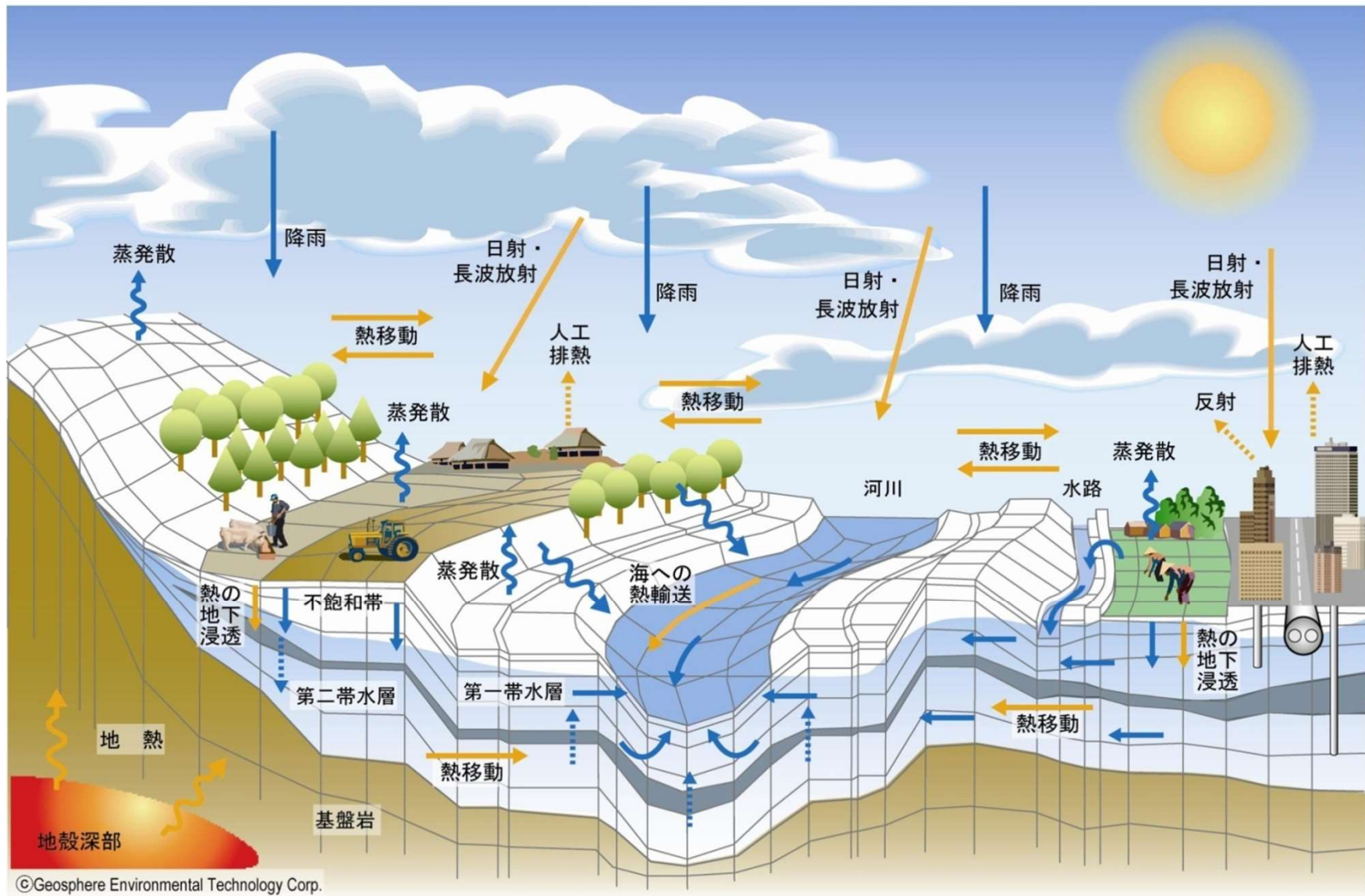
揚水量をどの程度に抑えれば良いか判断を支援



ユーザインターフェース

非常時地下水利用システム

2. 全体概要(三次元水循環解析モデル)

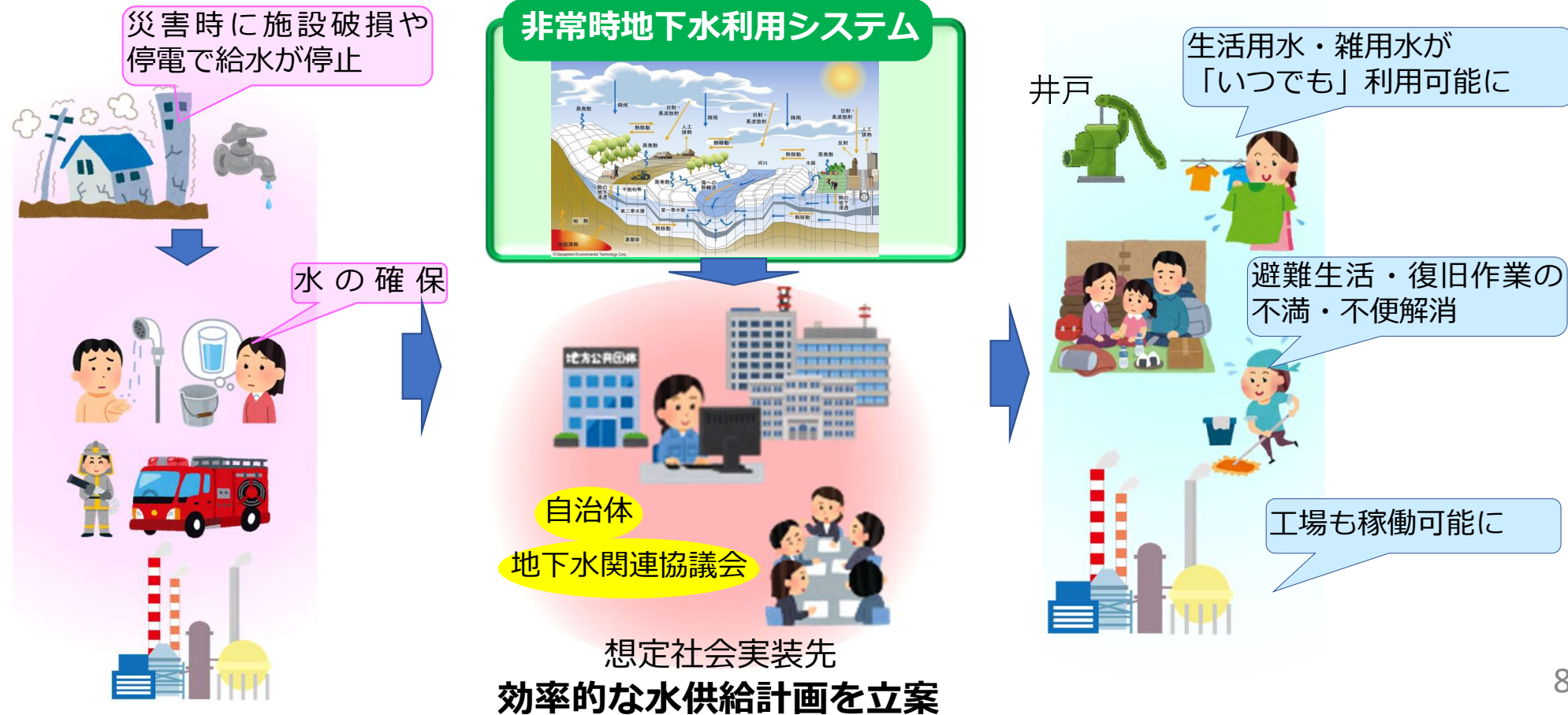


2. 全体概要(ユースケース)

○国や自治体や流域協議会が、災害時や危機的渇水時に一定の地盤沈下量以下に維持する地下水供給可能量を算出し、経済等への影響を踏まえた効率的な水供給計画を立案する。

(シナリオに基づく事前計画の立案、地震発生後の事前計画の見直し等に活用)

○更に水供給計画等を踏まえ、防災井戸の設置が必要な場合は設置場所・くみ上げ能力について検討

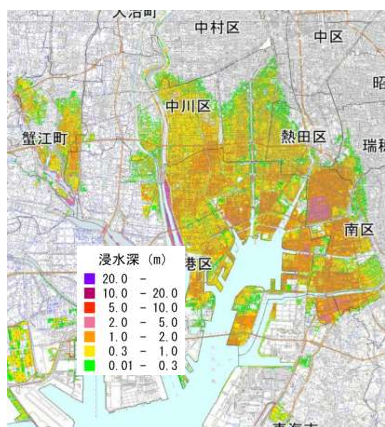
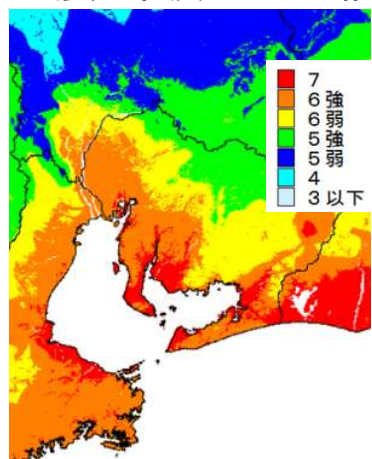


3. 地下水揚水量シナリオの開発

○関東平野（首都圏直下地震）および濃尾平野（南海トラフ巨大地震）を対象に、社会経済活動の変化を反映した地域別需要量と地域別供給量からの差から必要な地域別（市町村）地下水量を算出。

※自治体が災害時の水利用を具体的に想定できるシナリオを提供

地震・津波ハザード情報



社会経済活動の変化

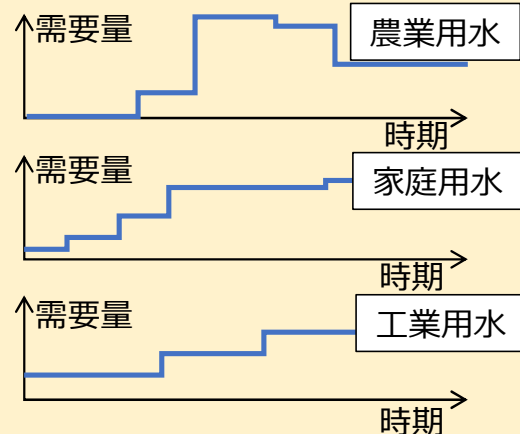


避難所生活による
需要量の変化

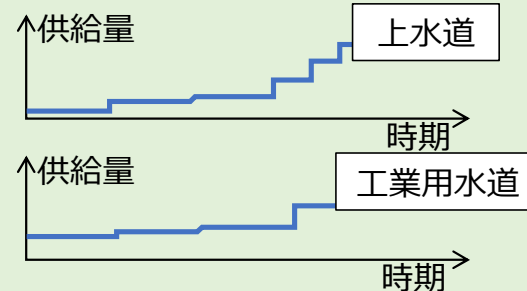


断水に伴う
供給量の変化

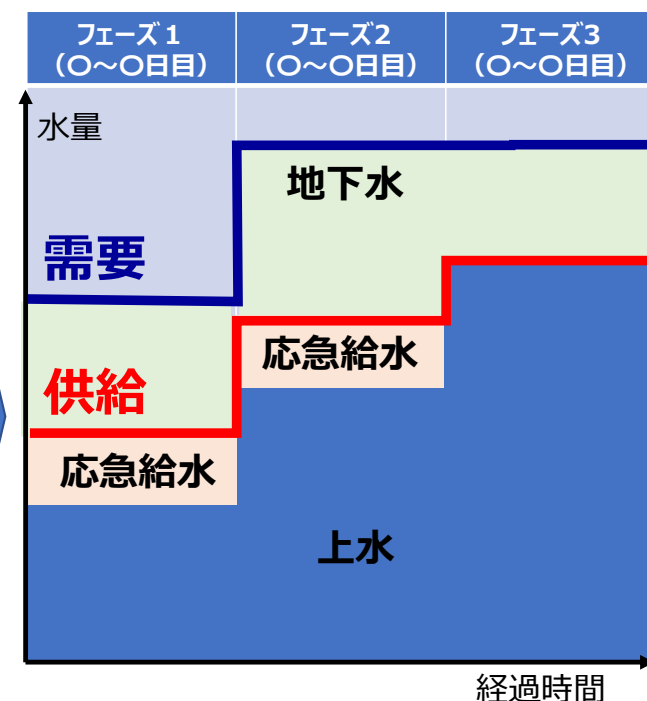
地域別需要量



地域別供給量



地域別時系列的な
地下水揚水量



3. 地下水揚水量シナリオの開発

地震発生時の水の不足量の算出（需要量・供給量の推計方法）

- 需要量については、原単位に中央防災会議の被害想定調査結果より断水人口・断水率や全焼棟数等を掛け合わせて算出。非断水地域については平時の需要量を想定。
- 供給量については、平時の供給量に上水道・工業用水道については、中央防災会議の被害想定調査結果の断水率を、農業用水については被災時の供給率を（65%）掛け合わせて算出。

需要量 (断水地域)

家庭用水	= 原単位※×断水人口			
	※発生～ 3日	3ℓ/人・日	4日～10日	20ℓ/人・日
	11日～21日	100ℓ/人・日	22日～28日	250ℓ/人・日(被災前給水量)
都市活動用水	= 平時の需要量※×断水率×（1 - 全壊・消失率）			
	※家庭用水同様の割合で需要量が変わることを想定			
消火用	= 40m ³ /棟×全焼棟数×0.1			
工業用水	= 平時の需要量（地震時の操業状況を考慮）			
農業用水	= 平時の需要量（浸水地域については180mm ×農地浸水面積×除塩回数）			

供給量

上水道・工業用水道	= 平時の供給量×（1 - 断水率） - 被害による漏水量+備蓄量（上水道）
農業用水道	= 平時の供給量×被災時の供給率（65%）
地下水	= 平時の供給量

供給過程に
おける損失

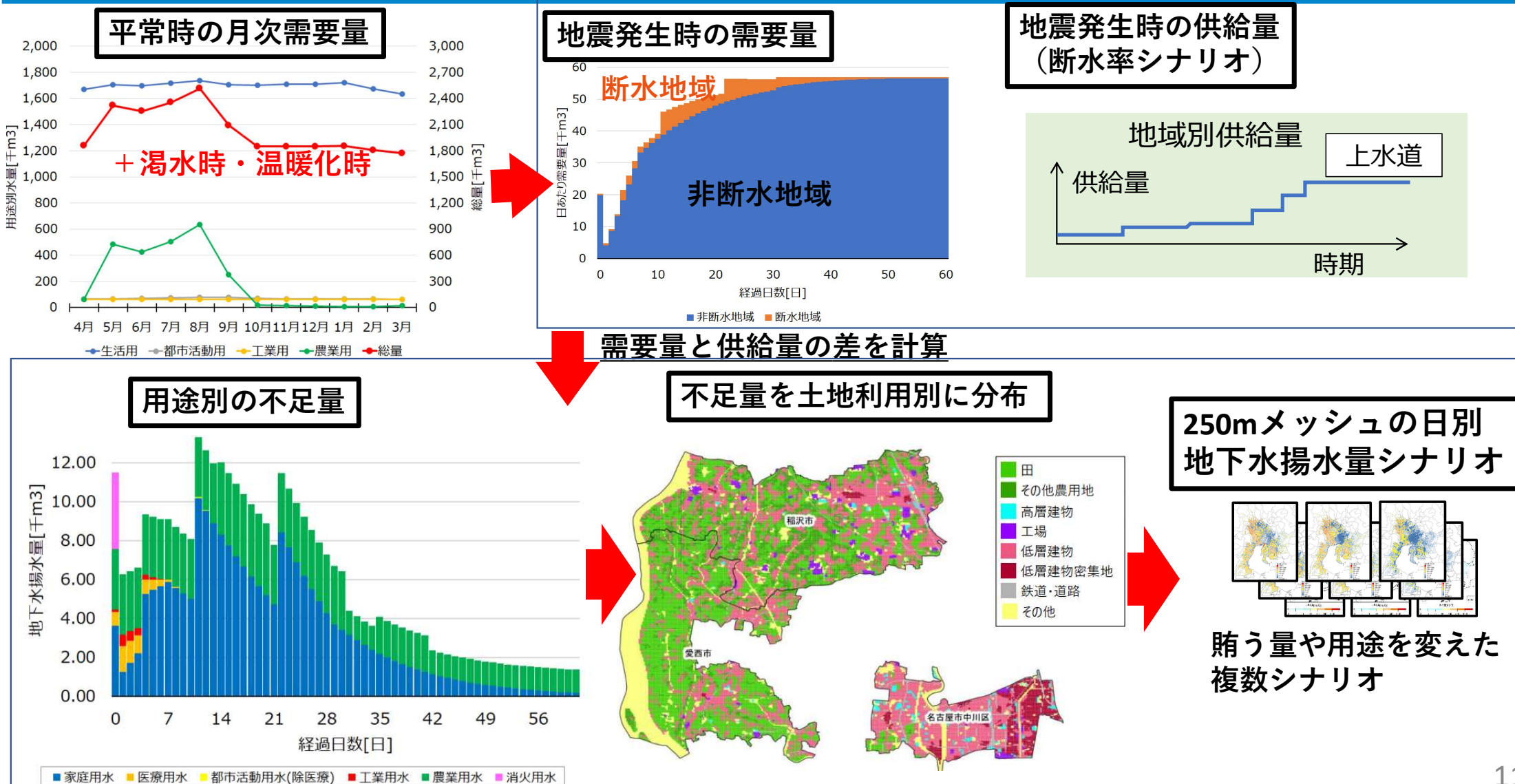
需要量



供給量

平時の供給量の設定の考え方 10

3. 地下水揚水量シナリオの開発



3. 地下水揚水量シナリオの開発（経済被害額原単位）

※単年度の経済被害額のみ計上しており、複数年に及ぶ被害については計上していない。

生活用水

・ 6640円/m³

※水道事業の費用便益分析マニュアルより算定（給水制限率20%における値）

消火用水

・ 127,074円/m³

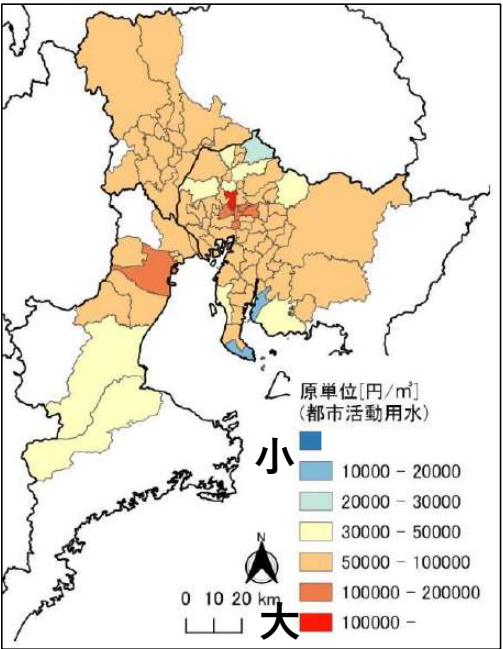
※建物1棟あたりの固定資産税評価額を消火に要する水量で除して算出

都市活動用水※1・工業用水※1・農業用水※2

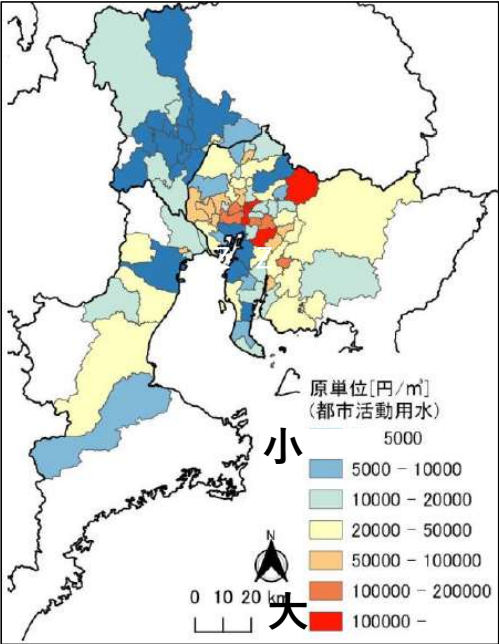
・ 市町村毎に原単位を設定

※1 域内総生産額に平常時の水需要量を除して求めた値に途絶係数を乗じて算出 途絶係数（工業用水:0.458 都市活動用水:0.349）（Liu,H Tatano,H, Kajitani Y (2021) の論文より）

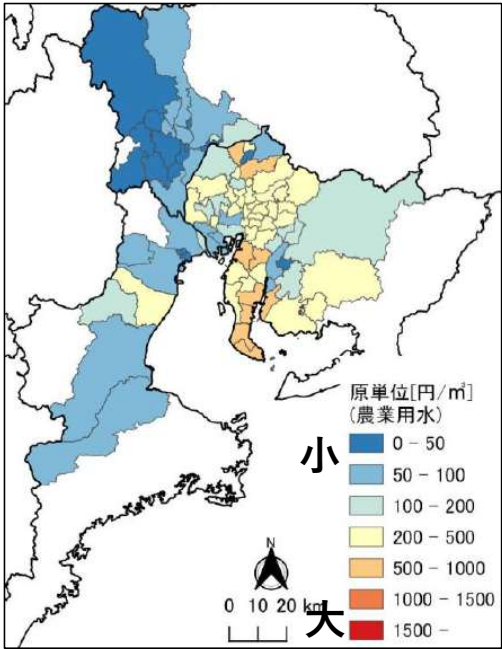
※2 農業センサスに基づく市町村別農業出荷額を平時の水需要量で除して算出



都市活動用水の経済被害原単位



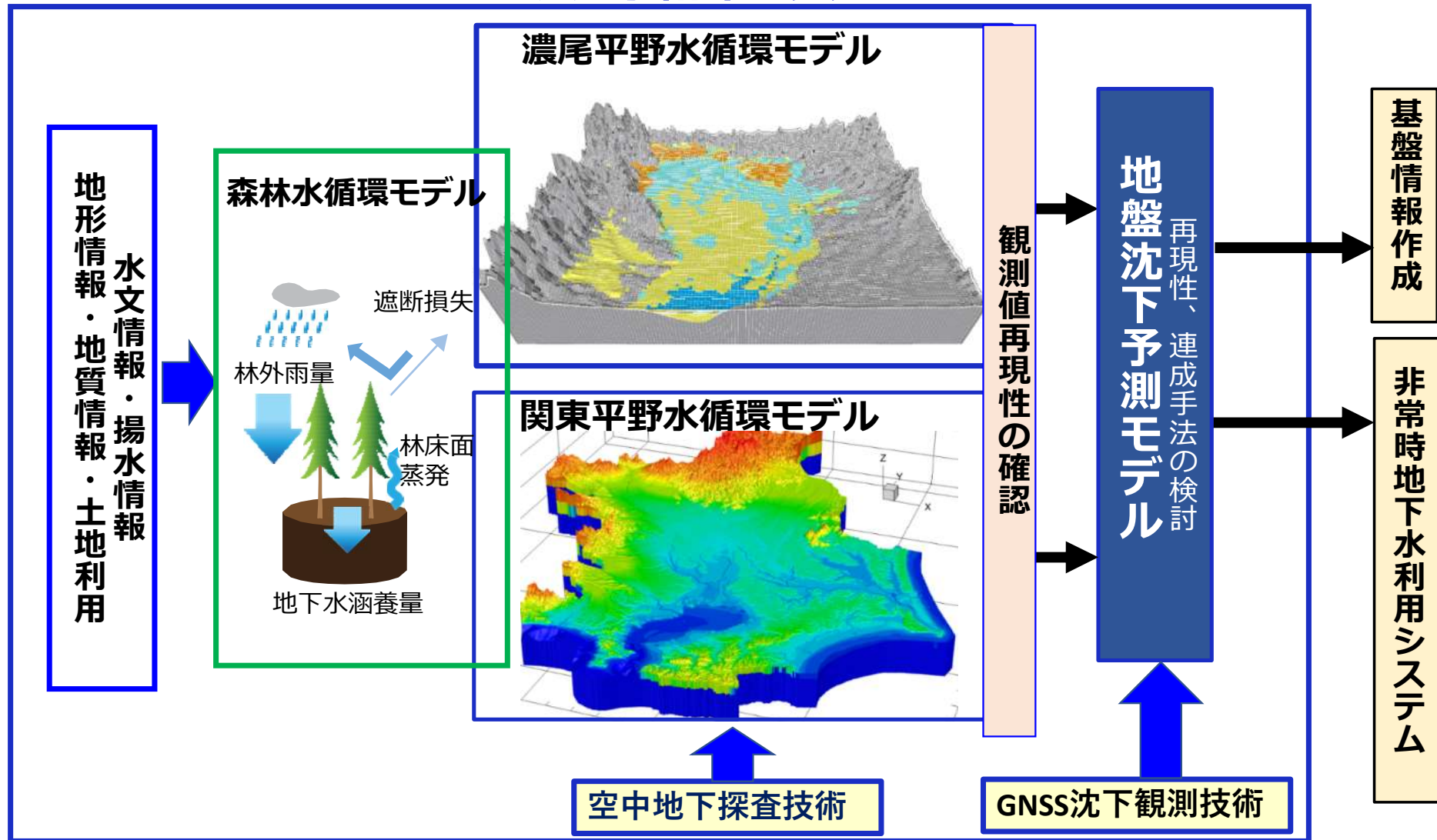
工業用水の経済被害原単位



農業用水の経済被害原単位

4. 3次元水循環モデルの開発

3次元水循環モデル

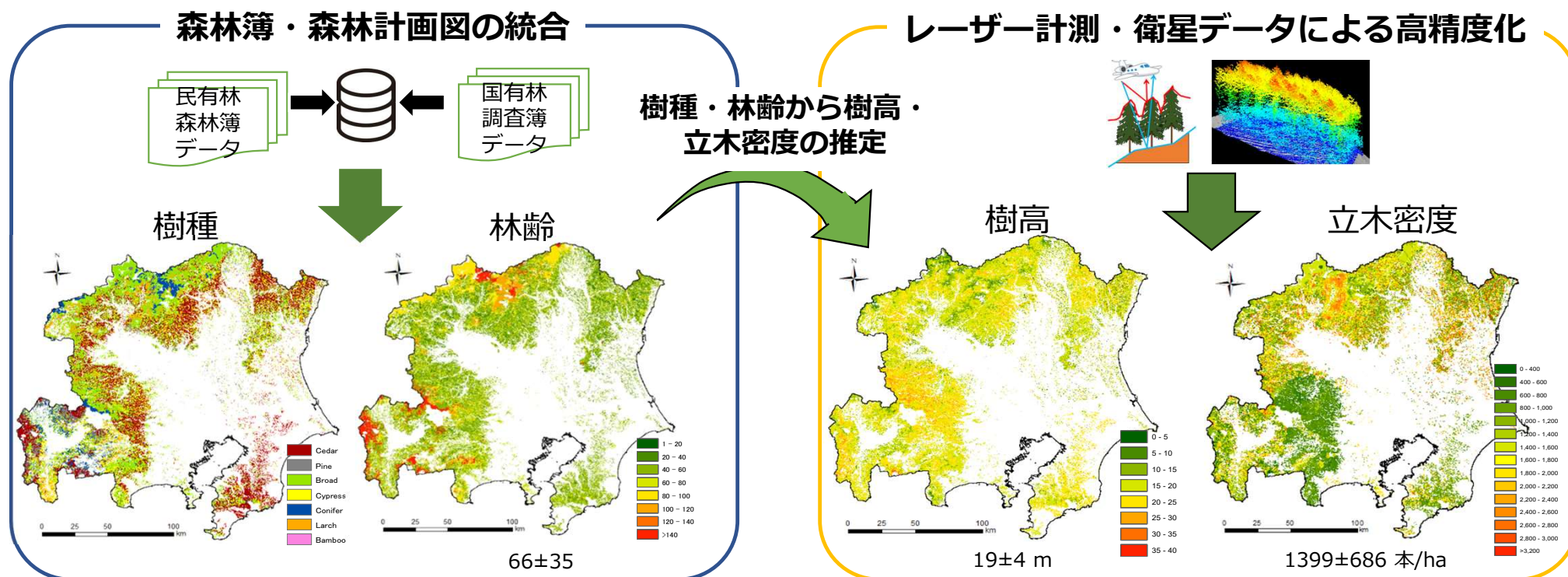


4. 3次元水循環モデルの開発（森林水循環モデル：基盤情報整備）

森林データベースの概要

本SIPで本邦初の実現

- ①国と各都道府県で別々に管理されている森林簿・森林計画図の統合
- ②統合結果から立木密度と樹高の推定および、航空機・ドローンによるレーザー計測や衛星画像を用いた高精度化



4点航空機LiDARの活用およびそれ以外の地域は森林簿情報 (Ry=0.8) から樹高・密度を算出

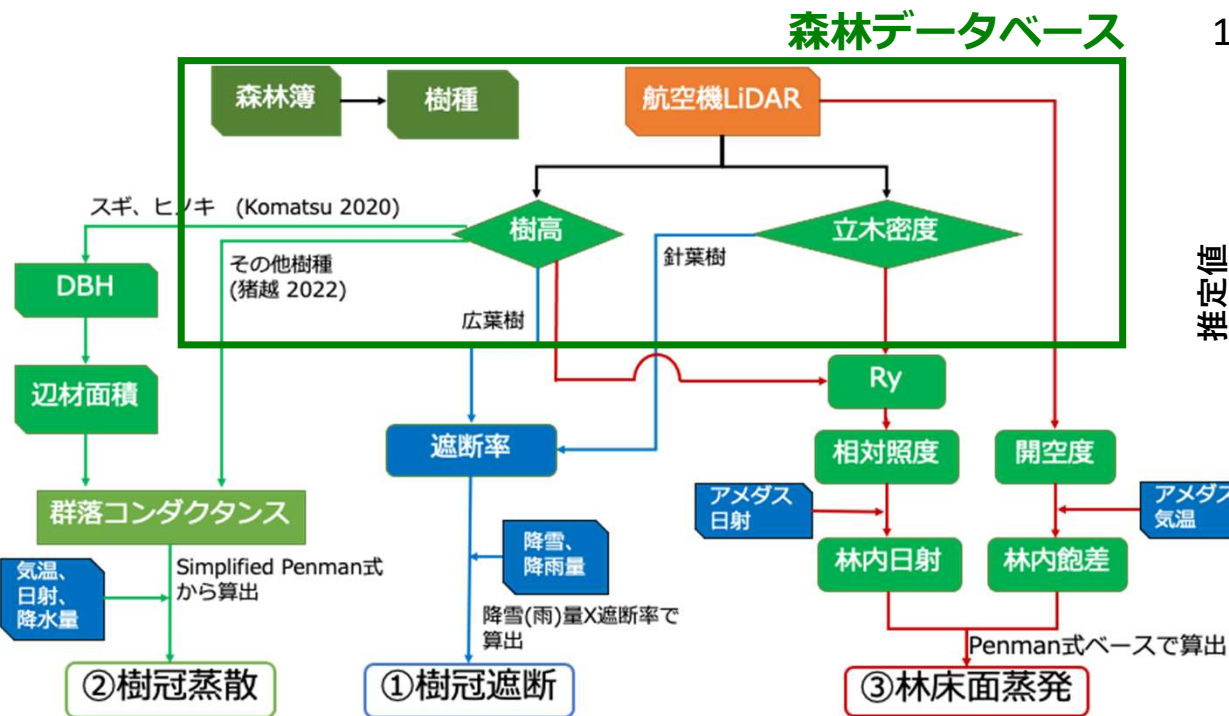
国有林および民有林の情報を統合し、広域かつ多様な樹種および林齢のマップ化を日本で初めて作成
森林情報高度化による立木密度・樹高の計測から、**森林水循環モデル (SIP-Forest Ver2.0)** 入力として活用

4. 3次元水循環モデルの開発（森林水循環モデル）

森林水循環モデル (SIP-Forest)

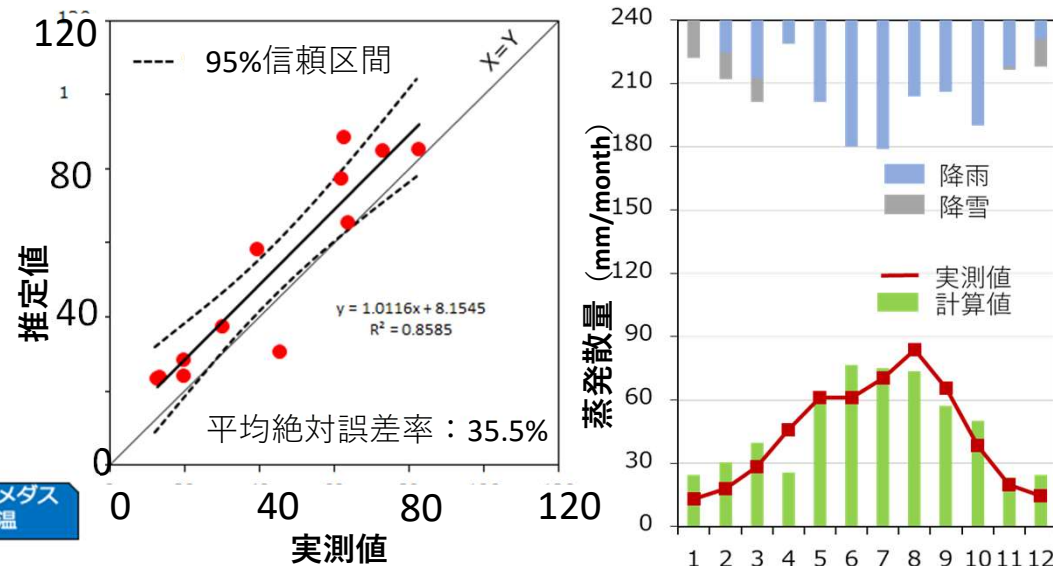
特徴：森林統合データベース(樹種、立木密度、樹高)とアメダスの気象データ(降雨量、気温、日射量)から広域の水循環で重要となる

3 要素（遮断量、蒸散量、林床面蒸発量）を算出



森林水循環モデル（SIP-Forest Ver 2.0）の精度

岐阜県高山市スギ林



- 主要樹種が異なる3地点のSIP-Forestの計算結果と実測蒸発散量では、平均誤差12% (SD:6%)
- SIP-Forestモデルでは、実測では計測が難しい、蒸散、遮断、林床面蒸発の3要素が算出可能
- 季節変動の再現性も良好

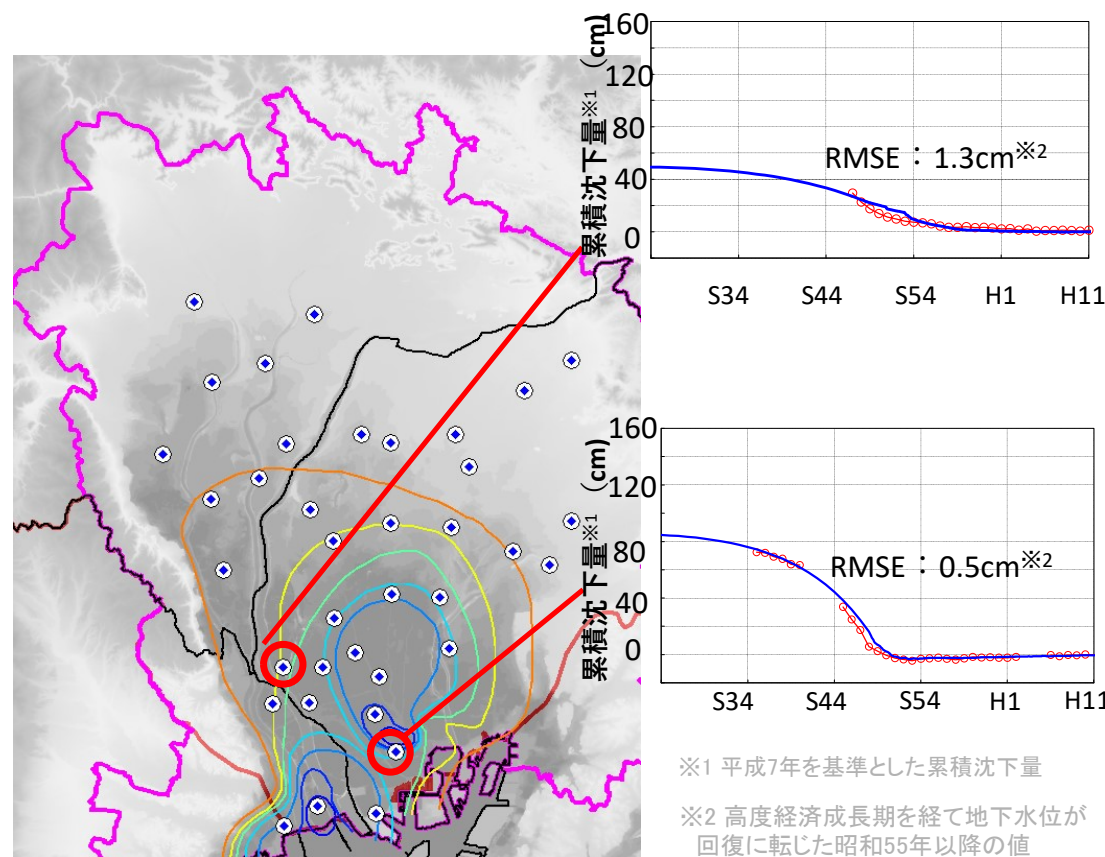
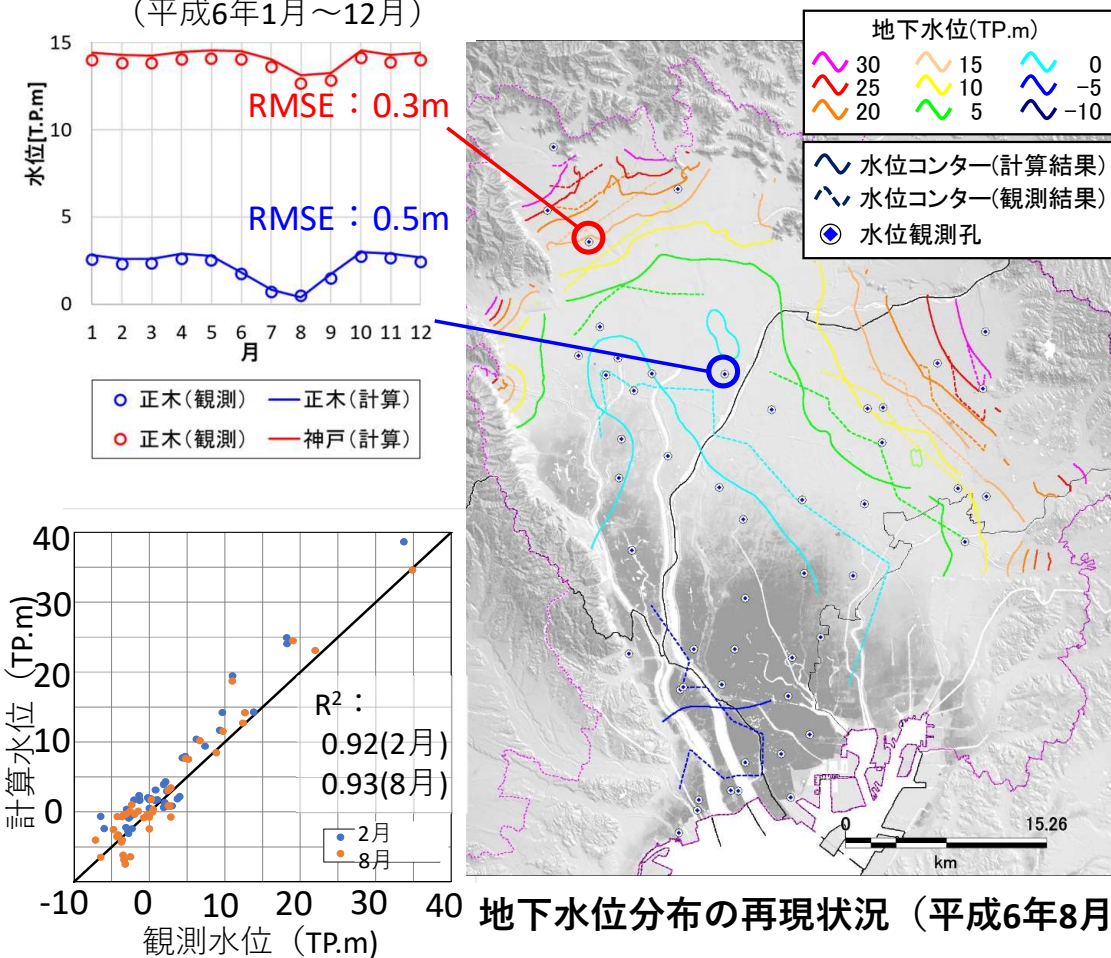
→森林水循環モデルが自治体の森林管理業務に活用される見込み

4. 3次元水循環モデルの開発（濃尾平野水循環モデル、地盤沈下予測モデル）

観測水位および水位変動の分布、経年的な累積沈下量（実測）概ね再現

[累積沈下量のRMSE(全地点平均) : $1.0\text{cm}^{\ast 2}$]

地下水位変動の再現状況
(平成6年1月～12月)



S36～H6の累積沈下量（実測）コンター

4. 3次元水循環モデルの開発（地盤沈下予測モデル:不確実性の評価）

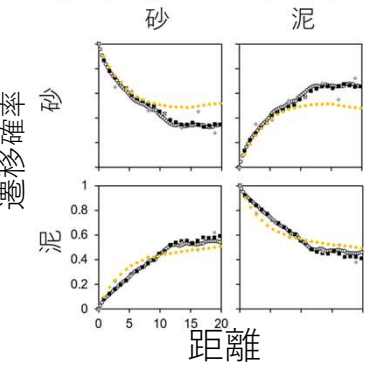
平野全体の連携解析とその不確実性評価手法

本SIPで世界初の実現

三次元水循環モデル

地質情報

遷移確率地球統計学



関東平野
地盤沈下解析モデル

層序アンサンブル
×
物性アンサンブル
×
境界条件アンサンブル

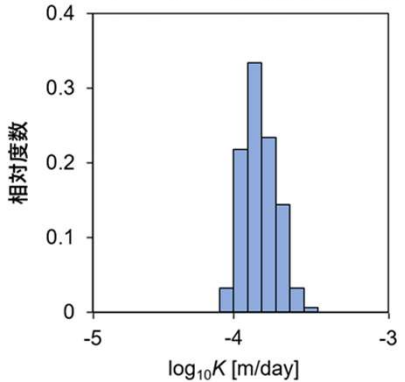
最尤推定 + 不確実性評価

複数の地下水位計算結果

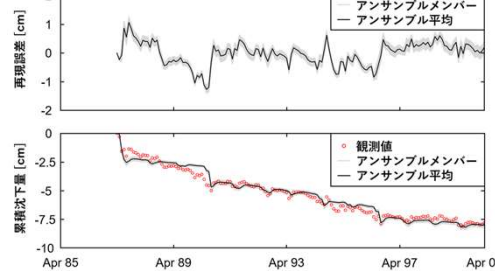
地盤沈下観測井
地盤沈下解析モデル

進化的マルチモーダル
アルゴリズムによる再現解析

物性の確率分布
アンサンブル逆解析結果



アンサンブル再現解析



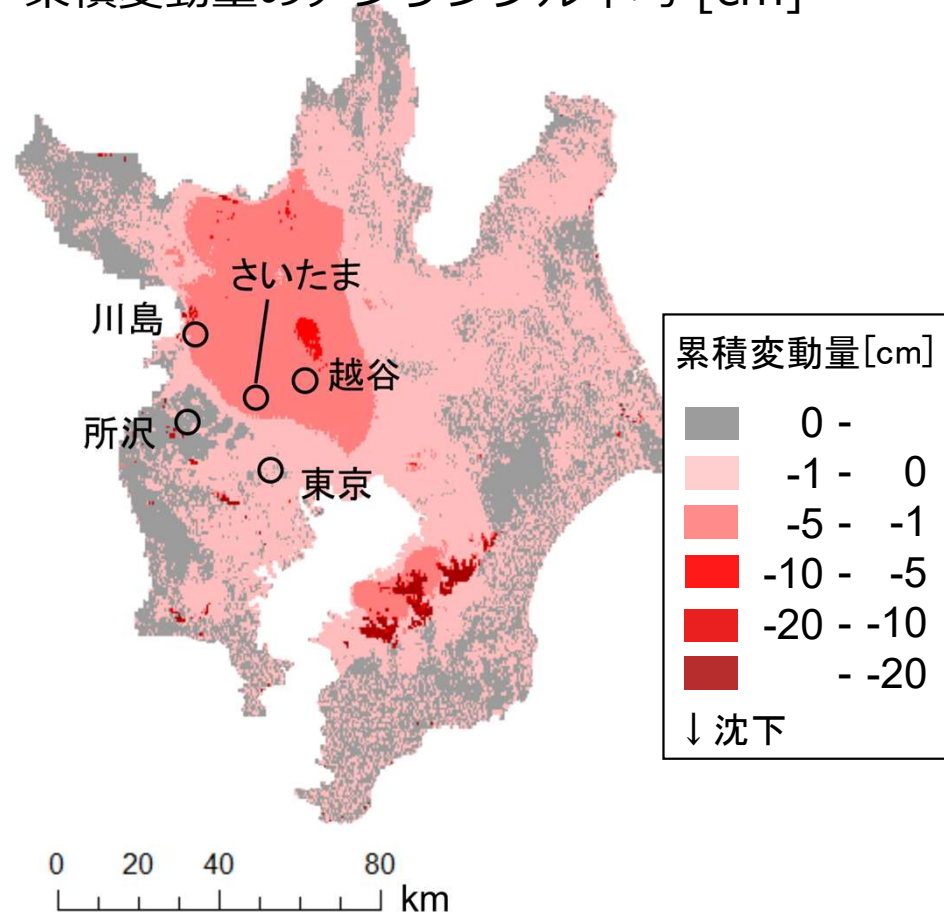
実データの入手可能性

項目	地盤沈下観測井地点	一般地点
詳細層序	○	×
物性パラメータ	△	×
水位データ	○	×
沈下データ	○	△

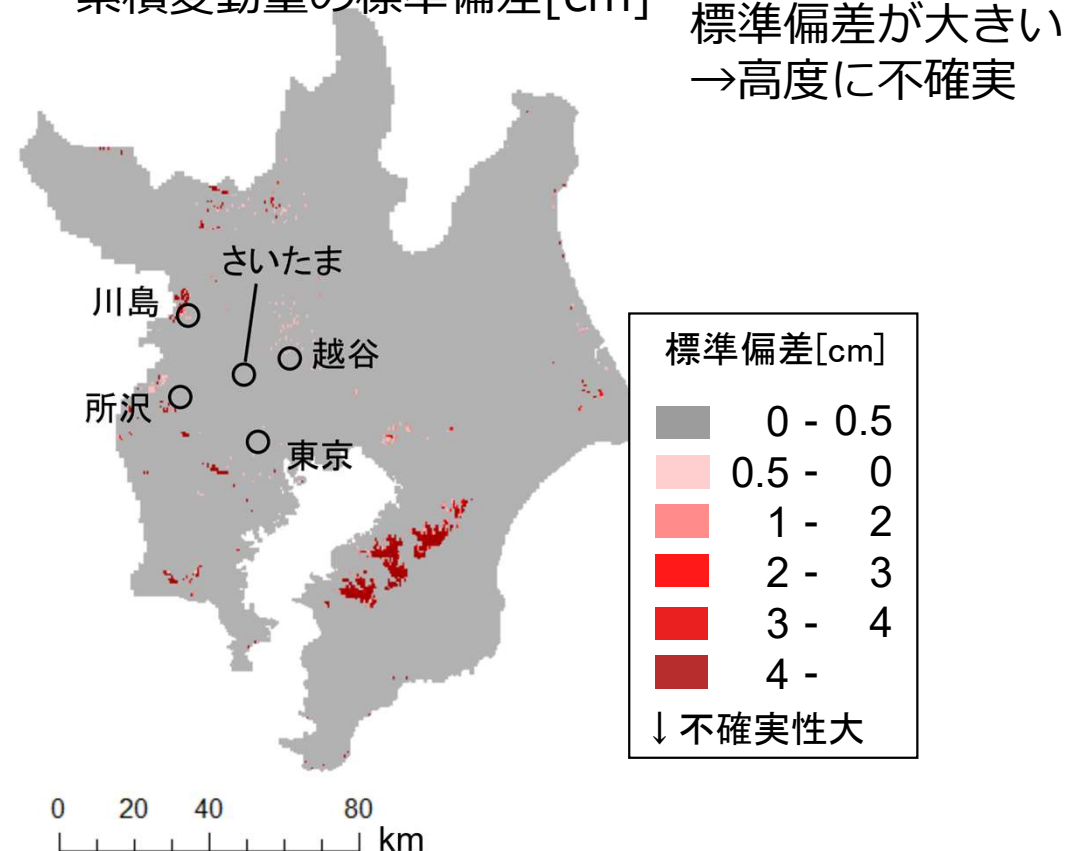
4. 3次元水循環モデルの開発（地盤沈下予測モデル:不確実性の評価）

本SIPで世界初の実現

累積変動量のアンサンブル平均 [cm]



累積変動量の標準偏差[cm]



標準偏差が大きい
→高度に不確実

平野中央北部の低地で常時利用による沈下量が多い傾向、
沈下量が非常に大きい地域は情報不足も原因

詳細地質情報がない地域を中心に不確実性が
高い地域が点在

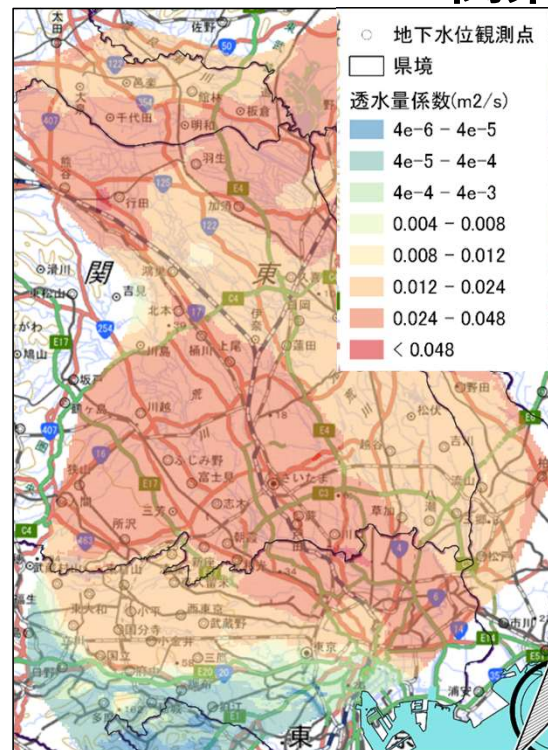
4. 3次元水循環モデルの開発（基盤情報：帯水層マップ、泥質層厚マップ）

揚水の可能性（地下水量）の目安となる帯水層マップや沈下しやすさの目安となる泥質層マップを基盤情報として整備

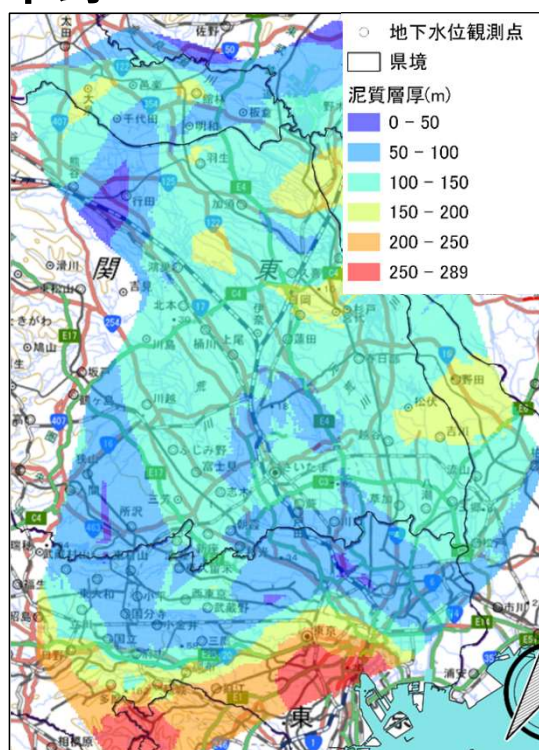
帯水層マップ ΣKH （透水性×厚さ）：地下水量

泥質層厚マップ ΣHm ：沈下しやすさ

関東平野

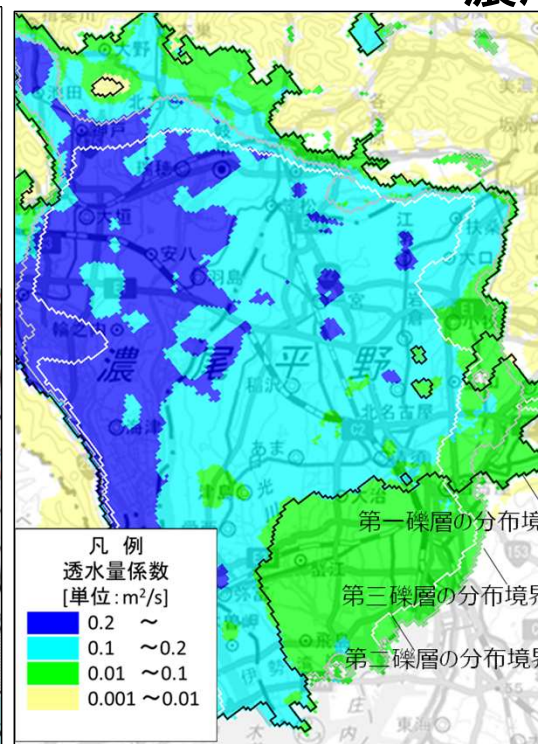


帯水層マップ

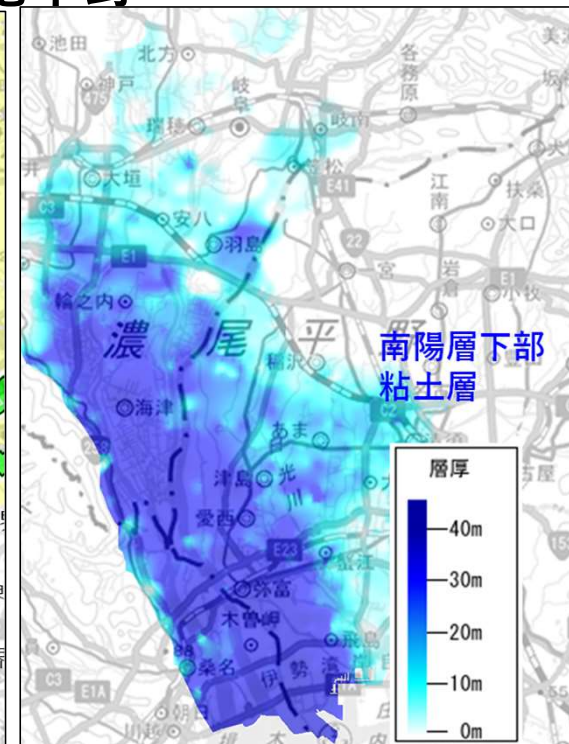


泥質層厚マップ

濃尾平野



帯水層マップ



泥質層厚マップ

※詳細モデル地域内のみ表示（0-300m区間）

5. シナリオ解析

○ 7月に南海トラフ巨大地震発生した場合を想定（サンプルとして下記6ケースを比較）

	1-1	2-1	2-2	3-1	3-1'	3-2
揚水規制量	揚水規制なし	全揚水量の4割		全揚水量の8割		
用途別の規制		農業用水のみ (42%規制)	農業・工業用水 (41%規制) 家庭・都市活動用水※ (21%規制)	農業用水のみ (84%規制)	農業用水のみ (84%規制)	農業・工業用水 (82%規制) 家庭・都市活動用水※ (41%規制)
地域別の規制		一定	一定	一定	3-1で沈下量大きい市町村は100%規制、残りの市町村は76%規制	一定

※平成6年の渇水時の対応を準拠して農業用水・工業用水は同率の揚水規制、家庭用水・都市活動用水はその1/2の揚水規制

→地震発生時の地下水利用量（経済被害額）と最大沈下量のトレードオフを定量化
（実際の活用には地域の実情を踏まえた判断が必要）

5. シナリオ解析結果（揚水量）

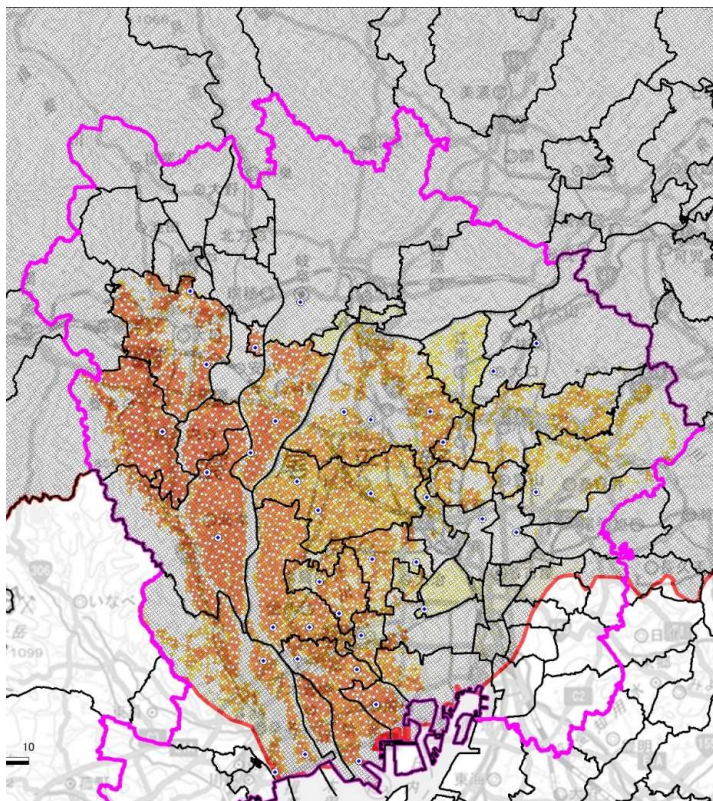
○揚水量分布（発災60日後）

ケース1-1

（揚水規制なし）

水利用規制に伴う被害額：なし

最大沈下量：16cm程度

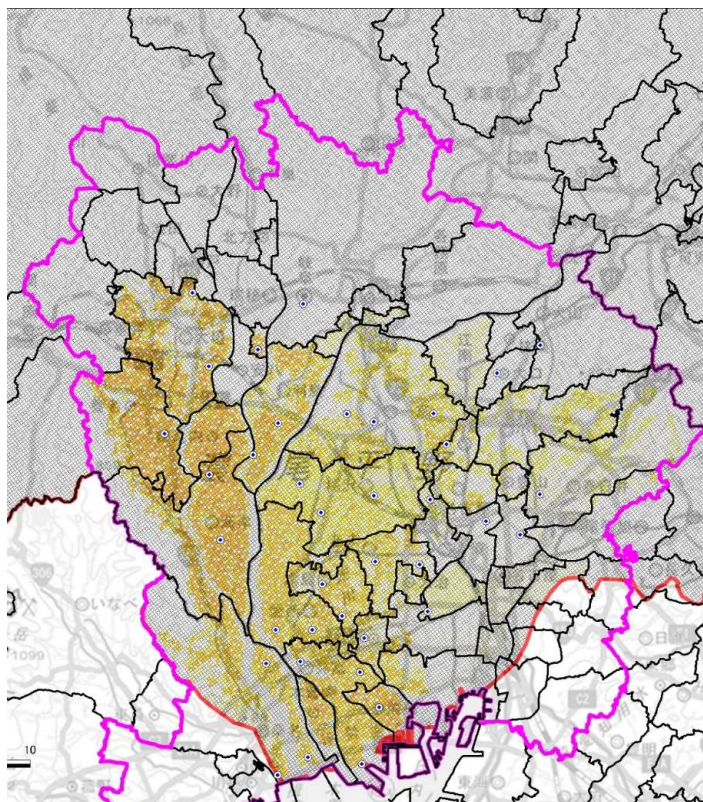


ケース3-1

（8割規制、農業用水のみ）

水利用規制に伴う被害額：約150億円

最大沈下量：3cm程度

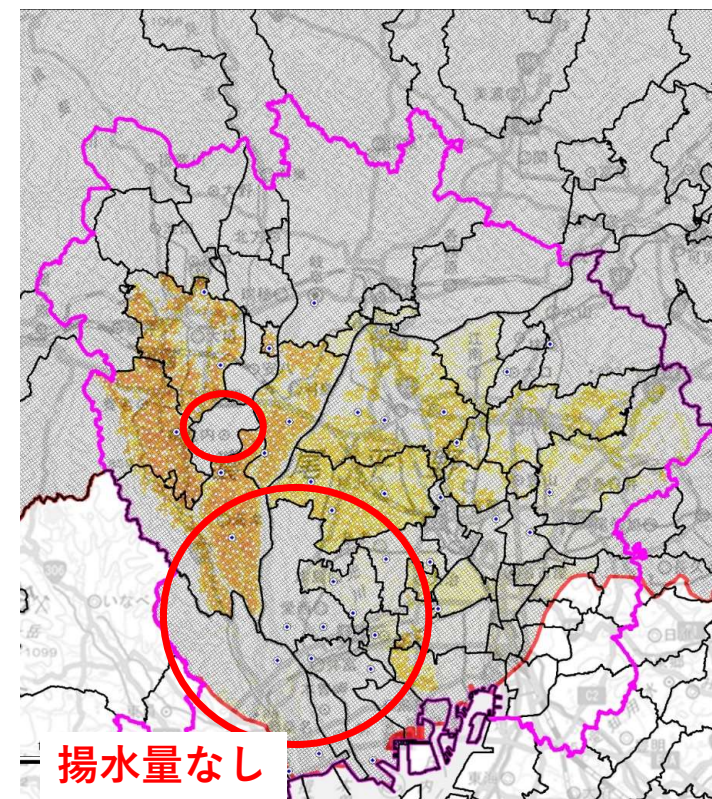


ケース3-1'

（8割規制、農業用水のみ、地域別規制）

水利用規制に伴う被害額：約155億円

最大沈下量：2cm未満

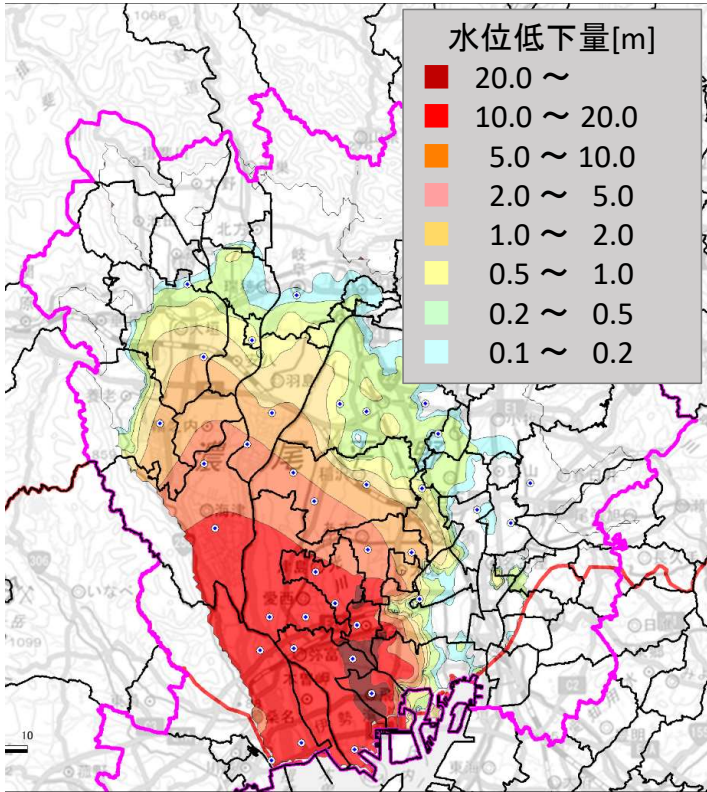


・揚水量の設定範囲：解析領域内かつ要綱地域内に設定、帯水層の分布域にのみ設定

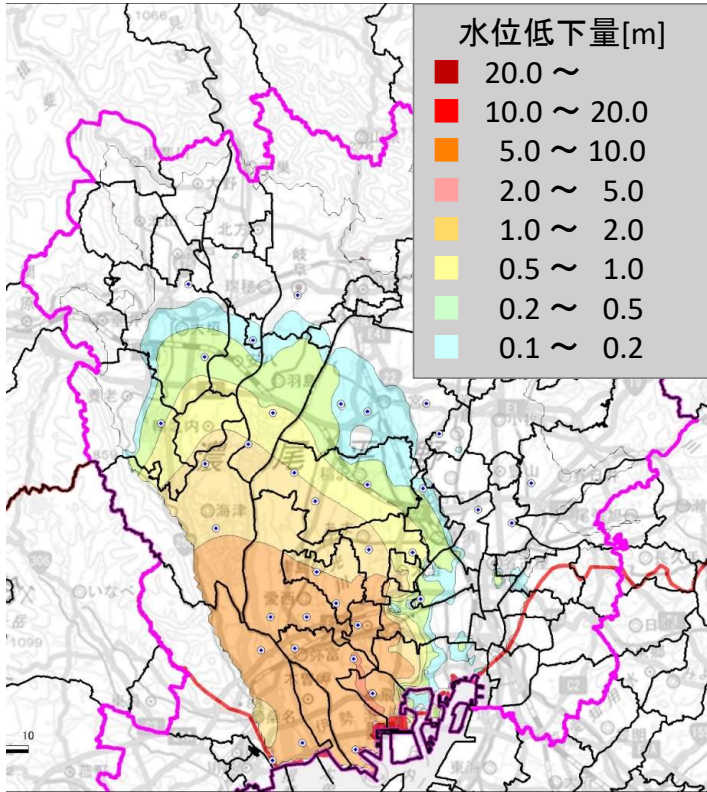
5. シナリオ解析結果（水位低下量）

○水位低下量（発災60日後）（第一帯水層（G1等））

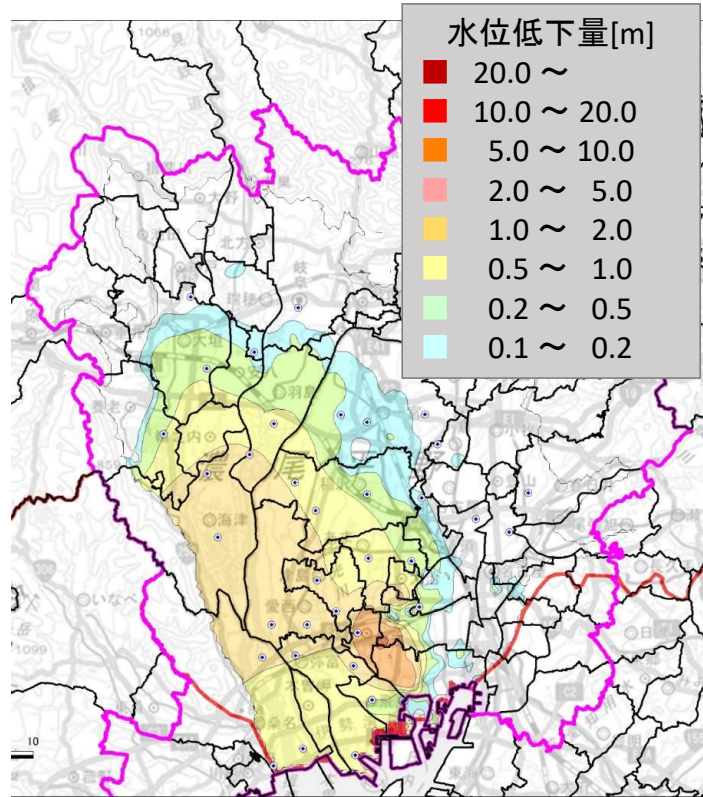
ケース1-1
（揚水規制なし）
水利用規制に伴う被害額：なし
最大沈下量：16cm程度



ケース3-1
（8割規制、農業用水のみ）
水利用規制に伴う被害額：約150億円
最大沈下量：3cm程度



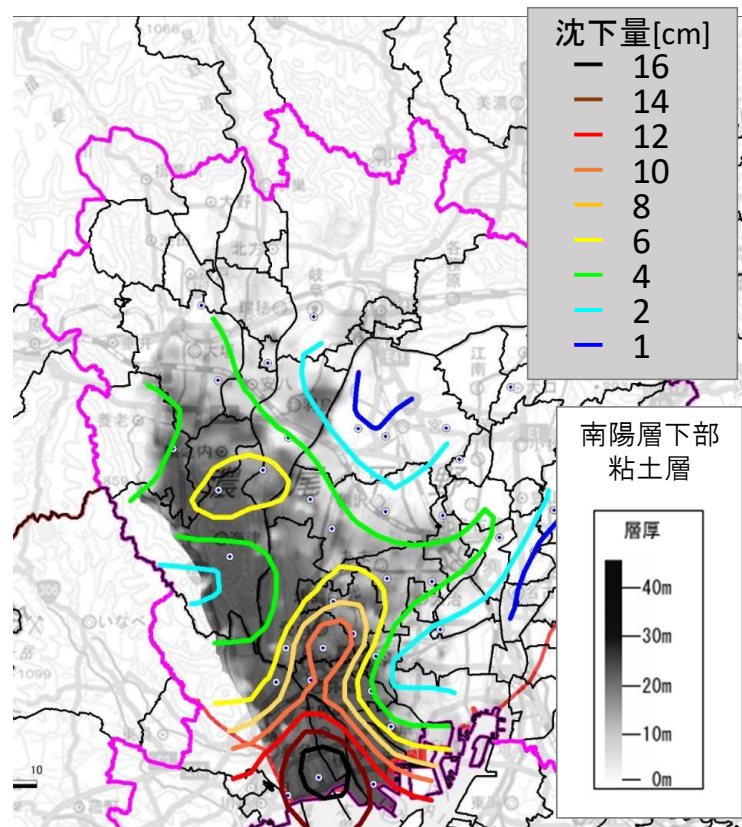
ケース3-1'
（8割規制、農業用水のみ、地域別規制）
水利用規制に伴う被害額：約155億円
最大沈下量：2cm未満



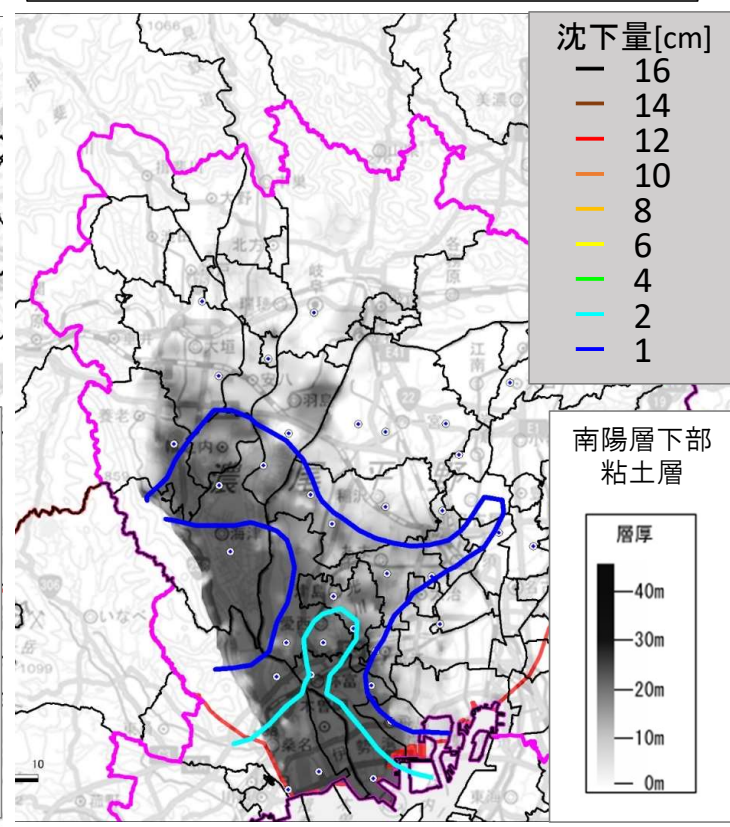
5. シナリオ解析結果（最大沈下量）

○最大沈下量

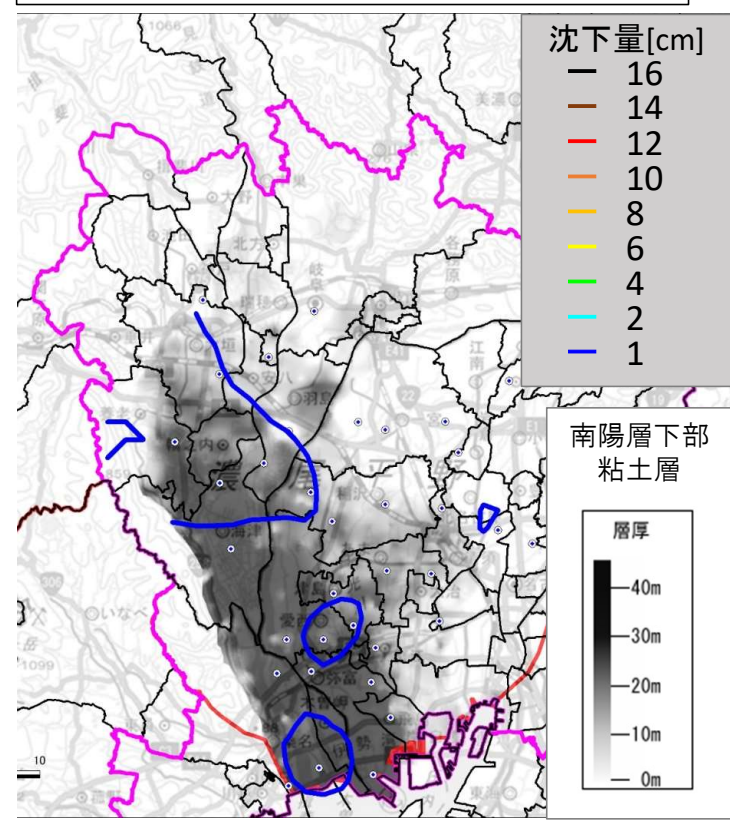
ケース1-1
(揚水規制なし)
水利用規制に伴う被害額：なし
最大沈下量：16cm程度



ケース3-1
(8割規制、農業用水のみ)
水利用規制に伴う被害額：約150億円
最大沈下量：3cm程度



ケース3-1'
(8割規制、農業用水のみ、地域別規制)
水利用規制に伴う被害額：約155億円
最大沈下量：2cm未満



※背景は主な沈下対象層厚

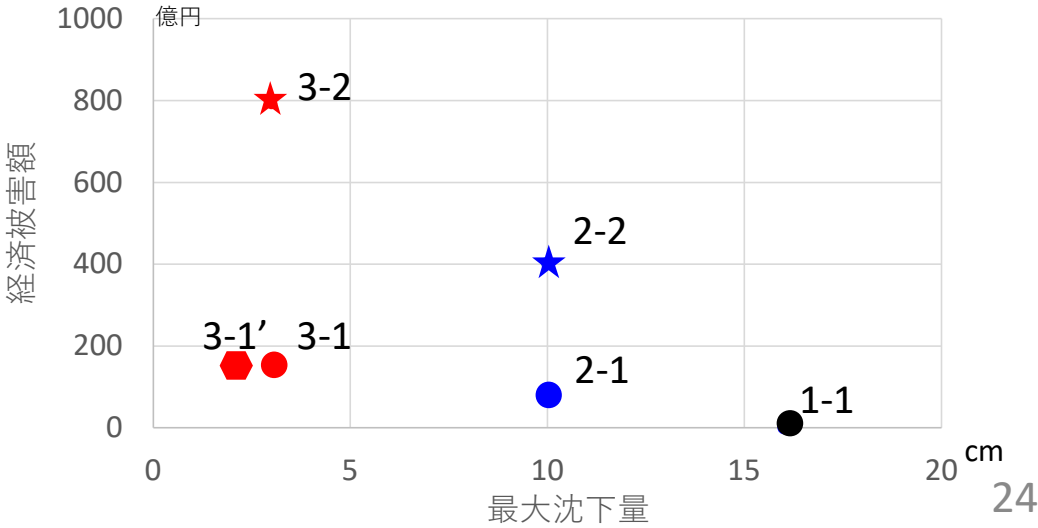
5. シナリオ解析

○ 7月に南海トラフ巨大地震発生した場合を想定（サンプルとして下記6ケースを比較）

	1-1 ●	2-1 ●	2-2 ★	3-1 ●	3-1' ●	3-2 ★
揚水規制量	揚水規制なし	全揚水量の 4 割		全揚水量の 8 割		
用途別の規制		農業用水のみ (42%規制)	農業・工業用水 (41%規制) 家庭・都市活動用水※ (21%規制)	農業用水のみ (84%規制)	農業用水のみ (84%規制)	農業・工業用水 (82%規制) 家庭・都市活動用水※ (41%規制)
地域別の規制		一定	一定	一定	3-1で沈下量大きい市町村は100%規制、残りの市町村は76%規制	一定
最大沈下量	16cm程度	10cm程度	10cm程度	3cm程度	2cm未満	3cm程度
水利用規制に伴う被害額	なし	約75億円	約402億円	約150億円	約155億円	約793億円

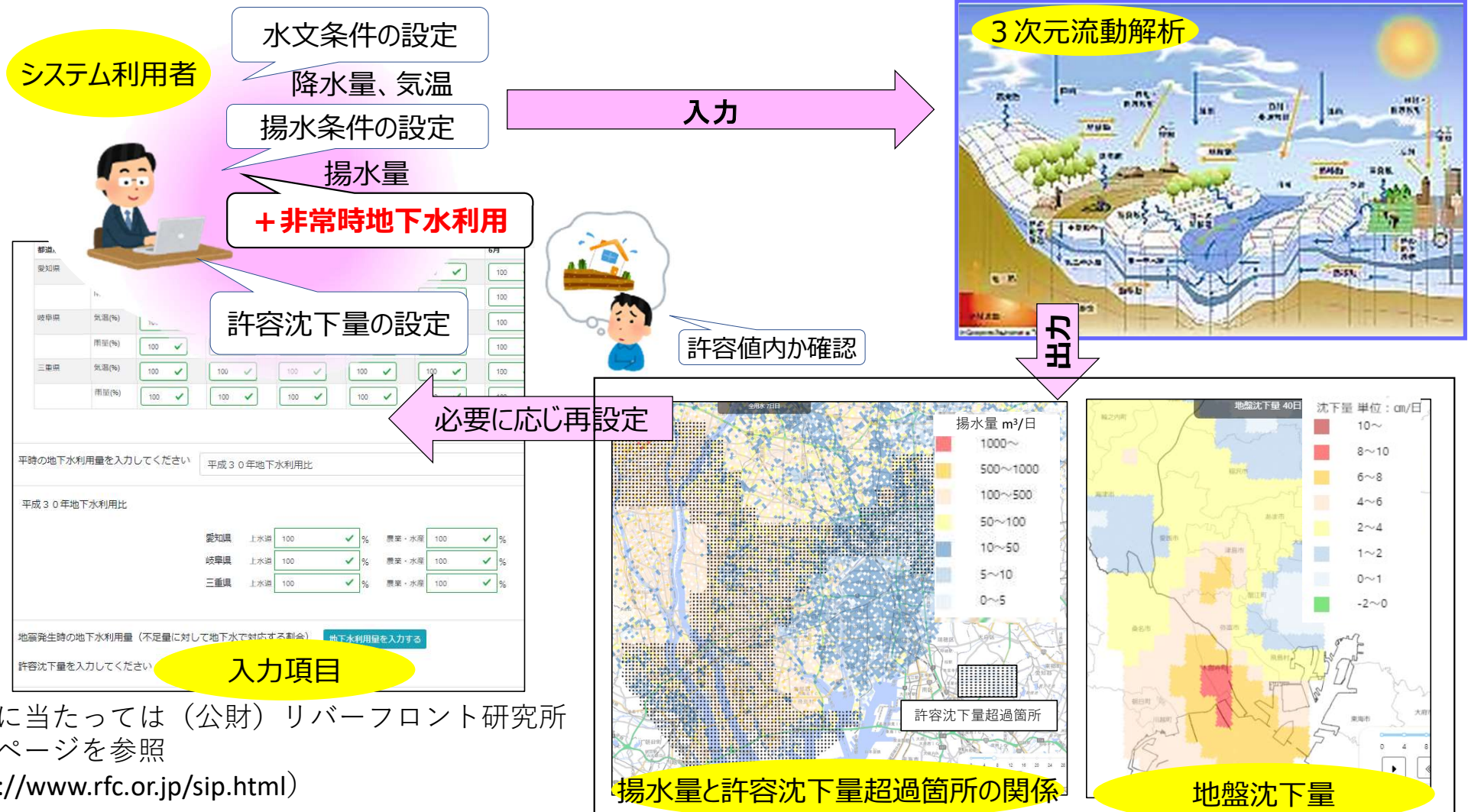
※平成 6 年の渇水時の対応を準拠して農業用水・工業用水は同率の揚水規制、
家庭用水・都市活動用水はその1/2の揚水規制

→地震発生時の地下水利用量（経済被害額）と
最大沈下量のトレードオフを定量化
(実際の活用には地域の実情を踏まえた判断が必要)



6. 非常時地下水利用システムの構成

○地震発生時、渇水時の安全な（許容範囲以上の地盤沈下が生じない）地下水利用量の把握



6. 非常時地下水利用システムの構成（Webシステムのデモ動画）

入力画面（南海トラフ地震想定）

非常時地下水利用システム [テーマIV]

検討ケース一覧

1 ページ目

No.	ジョブタイトル	検討ケース	対象地域	発生月	入力日	条件データ	共有
800	南海トラフ地震 3	地震発災前（シナリオに基づく揚水量算出）	濃尾平野	2022-08	2022-10-10	閲覧 ダウンロード	☐

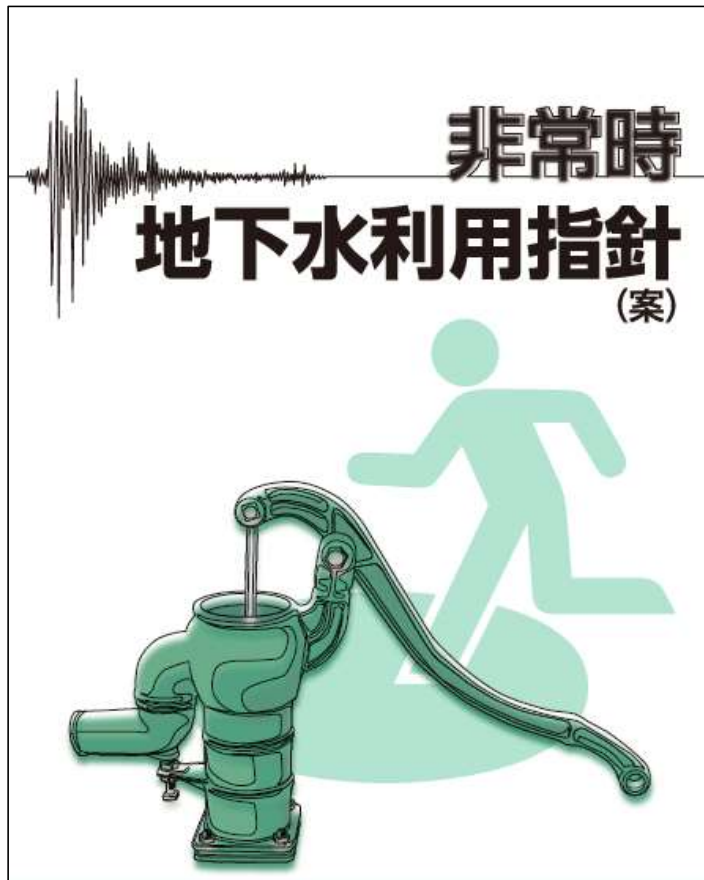
<< < 1 > >>

[シミュレーション条件入力](#) [シミュレーション結果表示](#)

7. 社会実装を実現するための取組（非常時地下水利用指針（案））

○非常時地下水利用を促進させるため、災害用井戸の設置に関わるQ and Aを作成

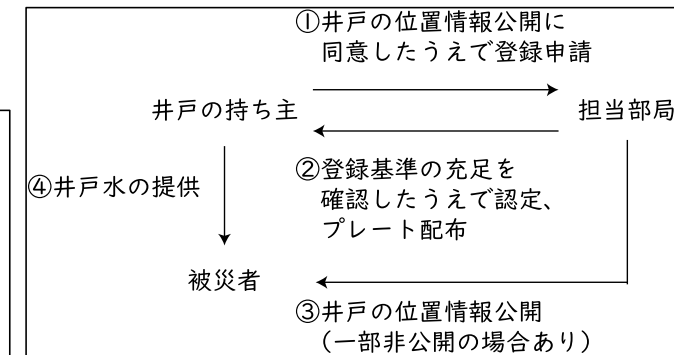
大阪公立大学(案)



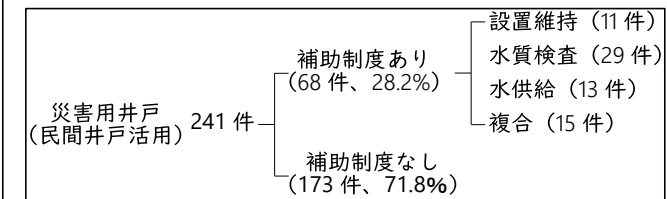
32項目に関するQ and A

目次

1. 応急給水について
2. 災害用井戸のしくみ
 - ・災害用井戸とは何ですか？
3. 災害用井戸と役割分担
 - ・国の計画での位置づけは？
 - ・企業にできることはありますか？
 - ・家の井戸でも役立ちますか？
4. 災害用井戸の準備
 - ・どう配置すればよいですか？
 - ・地盤沈下対策と両立可能ですか？
5. 災害用井戸の有効性と課題
 - ・どのように役立つのですか？
6. 今後の普及に向けて
 - ・補助のしくみはありますか？
 - ・プライバシー保護との両立は？



災害用井戸の運用フロー



災害用井戸に対する補助の類型

7. 社会実装を実現するための取組（行政/施策との連携）

令和2年度

水循環基本計画改定

災害時地下水利用システムの研究開発、社会実装に向けた検討を行う旨明記

- ・国は、地方公共団体における大規模災害時における地下水等の利用を推進するため、「災害時地下水利用システム」の研究開発を進めるとともに、その成果を用いたマニュアルの作成等による社会実装に向けた検討を行う。

令和3年度

水循環基本法改正

「地下水の適正な保全及び利用」に関する規定の追加

- ・国及び地方公共団体に地下水の観測、整理、分析等の努力義務の規定の追加

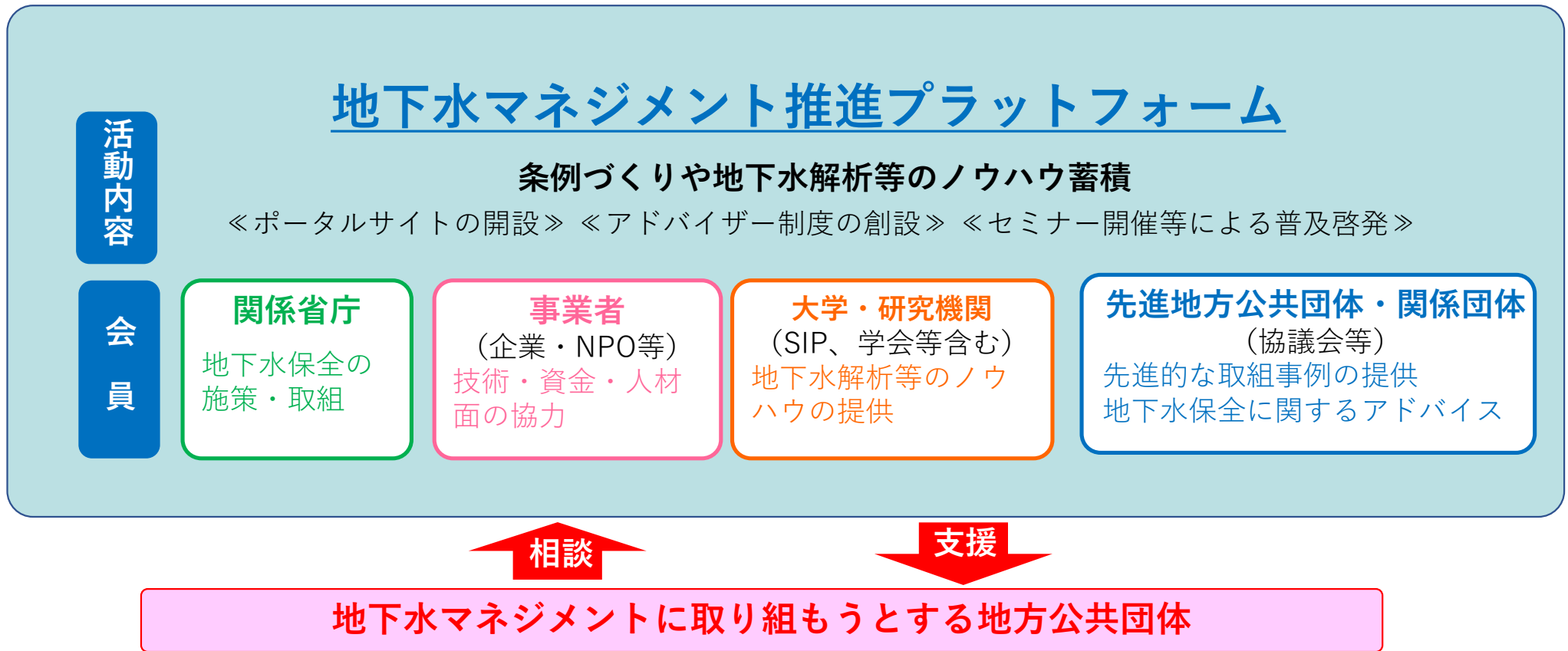
令和4年度

水循環基本計画一部見直し

「災害時地下水利用システム」の研究開発で得られた知見等を活用する旨等が記載

- ・国は、「災害時地下水利用システム」の研究開発で得られた知見等を活用し、地下水の収支や地下水の水量、水質、水温に関する挙動、地盤変動の把握、そのための調査・解析技術の開発等を推進する。

7. 社会実装を実現するための取組（行政/施策との連携）



地域の課題に対応した条例づくりや地下水の解析などに取り組もうとする全国の地方公共団体を支援

8. まとめ

- 首都圏直下地震時や南海トラフ巨大地震時に想定される具体的な水の不足量の時系列シナリオから、災害時に一定の地盤沈下量以下に維持する地下水供給可能量を算出し、国や自治体や流域協議会が、経済等への影響を踏まえた効率的な水供給計画を立案するための、本邦初の技術（森林データベース、地盤沈下の不確実性評価手法等）を備えたシステムが完成。
- システムには作成した水供給計画を踏まえ、防災井戸の設置場所・くみ上げ能力について検討可能な機能を付与するとともに、既存の井戸を防災井戸として登録する際に必要な観点を整理した非常時地下水利用指針（案）を作成（必要な防災井戸の設置、登録を推進）。
- 引き続き地下水マネジメント推進プラットフォーム等を通じて、災害時における地下水の必要性やシステムの紹介等を行い、社会全体で災害時や危機的渇水時における適切な非常時地下水利用を推進するための取組を実施。
- 本テーマで開発した要素技術（森林水循環モデル、関東・濃尾平野水循環モデル、地盤沈下予測モデル）については、モデルの精緻化・カスタマイズを行うことで、地域のニーズに応じた地下水利用の検討や森林の涵養量の評価等にも活用可能。