

非常時地下水利用システム開発の研究

Study on Groundwater Utilization System at Water Outage/shortage during post-Disasters

主席研究員 麓 博史

企画グループ グループ長 勢田 昌功

自然環境グループ グループ長 森 吉尚

1. はじめに

平成29年5月の国土審議会答申「リスク管理型の水の安定供給に向けた水資源開発基本計画のあり方について」では、需要主導型の水資源開発からの転換としてリスク管理型の水の安定供給を目指すこととし、危機時における柔軟な対応として、地下水等の代替水源の活用が打ち出された。一方、地下水についてはその流動状況の定量的な影響評価が遅れており、適切な規制がなされていないがために過度な汲み上げによる地盤沈下が生じたり、逆に規制のために有効な利用ができなかったりしてきた。令和2年6月閣議決定で改定された水循環基本計画では、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策の一つとして、「地下水の収支や地下水の水量、水質に関する挙動、地盤変動の把握、そのための調査・解析技術の開発」及び「災害常時地下水利用システムの研究開発」が位置づけられた。更に令和3年6月水循環基本法が改正され、基本的施策に「地下水の適正な保全及び利用」に関する規定が追加され、令和4年6月に水循環基本計画が一部見直しされ「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記載された。

本研究は、内閣府の実施する戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)Ⅱ期の課題「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」の研究課題「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」の共同研究機関として、5か年計画の最終成果として報告するものである。

2. 非常時地下水利用システムの全体概要

研究開発プロジェクトには、東京大学未来ビジョンセンター、芝浦工業大学、大阪公立大学、(公財)リバーフロント研究所、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)の9機関が参画している。開発の全体像は図-1に示す通り、「社会実装インターフェースの開発」と「3次元水循環モデル開発」で構成されている。

「社会実装インターフェースの開発」では、大規模な

地震時における被災地における水需要と表流水・地下水全体の水供給を含めた水源の確保状況を想定し、利用可能な地下水量と場所を特定することができるよう複数の地下水利用シナリオを設定している。シナリオ設定にあたり、危機的渇水を含む過去長期間の気象外力データと今後十数年に温暖化による影響を受けると予想される気象データを作成している。また、地下水利用シナリオ及び3次元水循環モデルが一連のシステムとして稼働させるための社会実装ユーザーインターフェースを開発している。更に、社会実装においては、地下水の防災利用を支える制度作りが必要不可欠であることから「非常時地下水利用指針(案)」を策定している。

「3次元水循環モデル開発」では、モデル地域(関東平野、濃尾平野)において、3次元水循環解析モデルを開発し、「社会実装インターフェース」で設定した地下水利用シナリオを想定し、一定の地盤沈下量以下に維持する地下水供給可能量の推定を行っている。また、GNSSステーションを用いた災害時における安価かつ高精度な地盤沈下モニタリング手法や災害時に実施可能な物理探査による地盤情報や地下水データの活用手法を開発している。なお、3次元水循環モデルの概要については、リバーフロント研究所報告第32号(2021年10月)に記載されているため、参照されたい。

また、本システムの実装・運用先については、政府、自治体や流域協議会(水循環基本計画に定める流域水循環協議会)を想定している。具体的には、第12回(令和3年5月開催)、第13回(令和4年5月開催)及び第14回南海トラフ地震対策中部圏戦略会議(令和5年5月開催)で、当該システムについて紹介したところである。

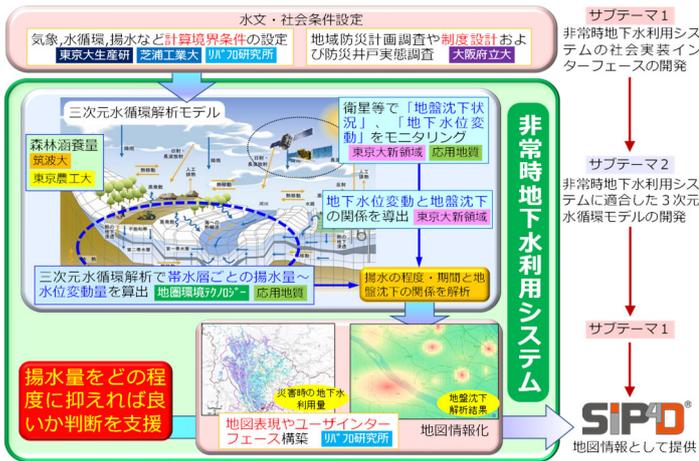


図-1 非常時地下水利用システム全体像

3. 実施内容

リバーフロント研究所は、「社会実装インターフェースの開発」のうち、システムの設計・構築・試行・改良及び本研究成果となる社会実装に関する研究を行った。5年間の主な取組み内容は以下のとおりである。

3-1 社会実装に向けた災害時の地下水利用シナリオ作成

災害時の地下水利用シナリオについては、濃尾平野では南海トラフ地震を、関東平野では首都圏直下地震を対象に、社会活動の変化を反映した給水施設等の地域別需要量と給水施設等により減少する地域別供給量の差から必要な地域別不足量（必要地下水量）を算出した。ここでは濃尾平野のシナリオについて紹介する。

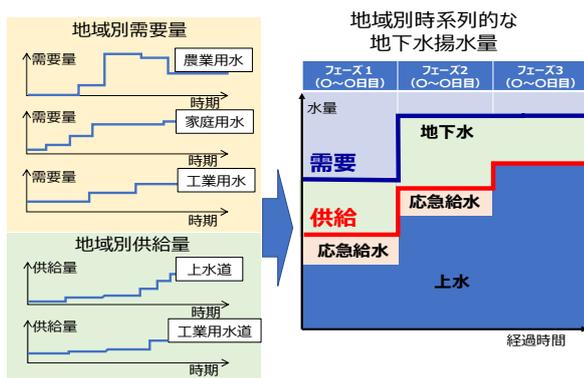


図-2 地域別不足量(必要地下水量)の算出方法

図-2は需要量については被害発生以降の社会活動の変化を踏まえ公表資料等から原単位を設定し、原単位に中央防災会議「南海トラフ巨大地震の被害想定」の断水人口・率や全焼棟数等を掛け合わせて算出した。非断水地域については平時の需要量を想定して算出した。上水道・工業用水道の供給量については、中

央防災会議「南海トラフ巨大地震の被害想定」の断水率を、農業用水の供給量については被災時の供給率（65%）を掛け合わせて算出した（図-3）。

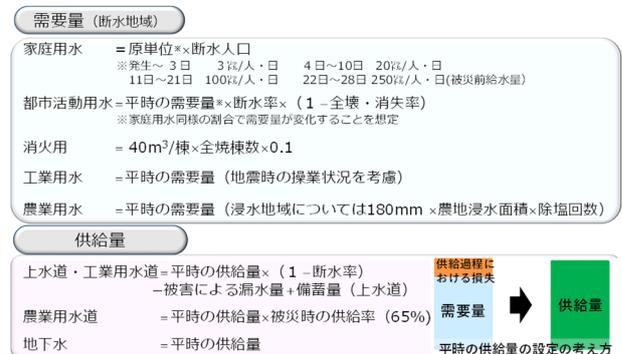


図-3 需要量・供給量の推計方法

更に市区町村単位で推定した用途別の地域別不足量（図-4）を、市区町村内における各用途の地域分布を反映した形で各メッシュでの揚水量を推定した（図-5）。地域分布の重みとしては、国土数値情報の都市土地利用細分メッシュ（同メッシュの対象外の地域は土地利用細分メッシュ）の土地利用種別を利用した。

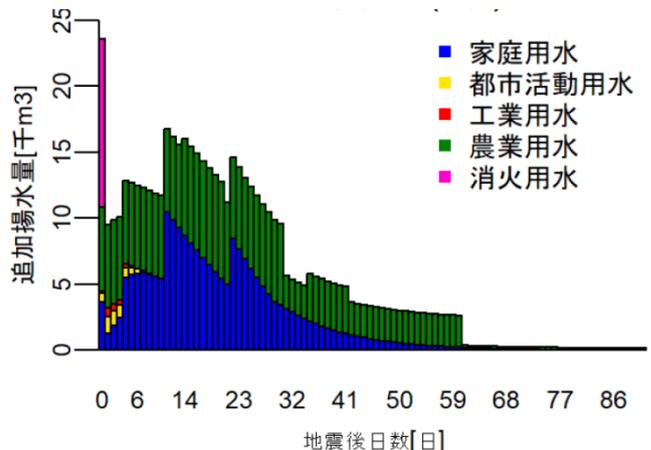


図-4 市区町村単位の用途別不足量の時系列変化

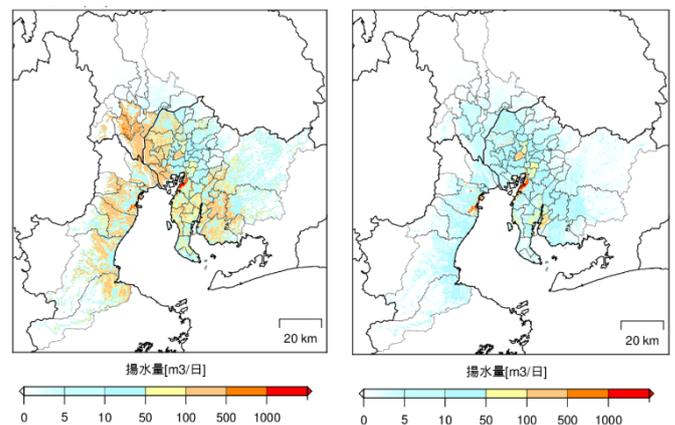


図-5 南海トラフ巨大地震発生時に想定される不足量 (左:8月、右:冬季)

3-2 経済被害額原単位作成

需要水量に対して使用可能水量が不足した場合における経済被害の原単位を、既往文献や工業統計等の統計を参照して設定した。水道事業の費用対効果分析マニュアルでは、水道事業による便益を算出するための減・断水被害額の算定方法について記載している。そのため、家庭用水の原単位については給水制限率を20%とした場合の原単位として、6,640 円/m³を原単位とした。また、消火用水は建物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た127,074 円/m³とした。都市活動用水および工業用水は、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(工業用水:0.458 都市活動用水 0.349)を乗じて算出した。農業用水については、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した。

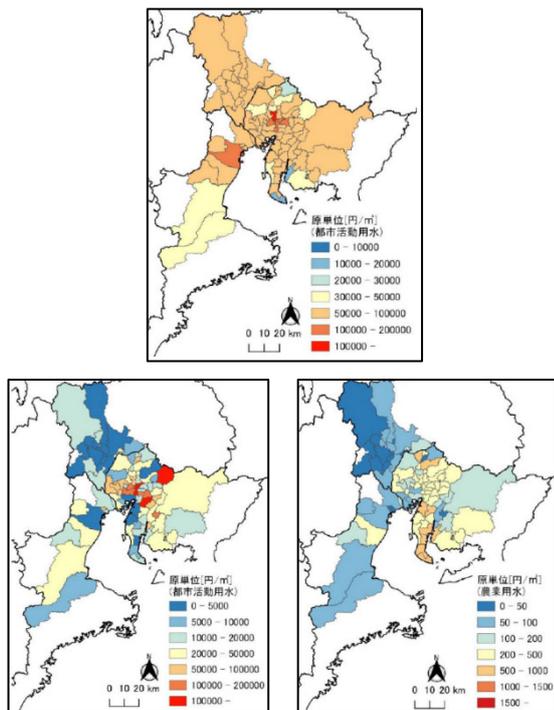


図-6 経済被害額原単位

(上:都市活動用水、左下:工業用水、右下:農業用水)

3-3 3次元水循環モデルによるシナリオ解析結果

災害時の地下水利用シナリオ、経済被害額原単位及び3次元水循環モデルを用いてシナリオ解析を行った。サンプルとして、7月に南海トラフ巨大地震が発生した後、発生から2か月間の地下水活用を想定し以下6ケースの比較を行った(表-1)。揚水規制量については、揚水規制を行わなかったケース、全揚水量の4割を揚水規制したケース、全揚水量の8割を揚水規制したケースの3種類とした。揚水規制したケースについては、農業用水のみで規制した場合、農業・工業・家庭・都市活動用水で規制した場合の2種類のケースを検討した。なお、農業・工業・家庭・都市活動用水で規制した場合の規制割合については、平成6年の渇水時の対応を準拠した割合とした。更に、全揚水量の8割を揚水規制したケースについては沈下量が大きな市町村では全容量揚水規制をかけ、その分その他の箇所の揚水量を増加させ、地域別に規制の仕方を変えたケースを検討した。

3次元水循環解析結果の代表的なケースとして、1-1(揚水規制なし)、3-1(8割規制、農業用水のみ)、3-1'(8割規制、農業用水のみ、地域別規制あり)のケースを図-7、図-8、図-9に示す。ケース1-1では、最大沈下量が16cm程度になる。全揚水量の8割を揚水規制したケース3-1では、最大沈下量は3cm程度に抑えることができるが、経済被害が150億円発生する。また、3-1ケースに地域別規制をかけた3-1'ケースでは、最大沈下量は2cm未満に抑えることができるが経済被害が155億円発生し、3-1ケースと異なる地域が沈下する。このことから、効果的に地域別規制をかけた方が、沈下の程度を抑えることができるため、地域全体としての地下水利用可能量が増加させることができると言える。また、いずれのケースも南陽層下部粘土層が厚い地域において地盤沈下量が大きくなっていることが確認できる。

表-1 南海トラフ巨大地震が発生した場合を想定した検討ケース

	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

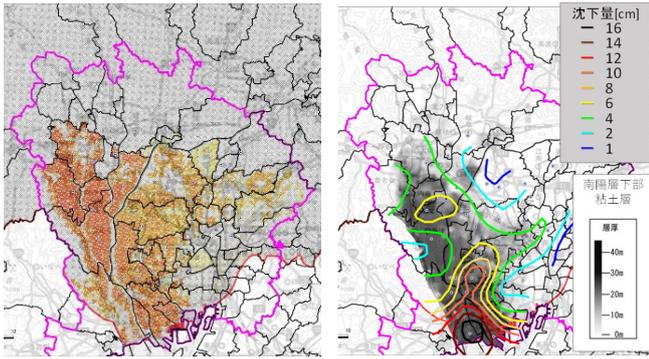


図-7 非常時地下水利用量と最大沈下量との関係(ケース1-1)
(左:非常時地下水利用量(発災60日後)、右:最大沈下量)

も十分考慮し、地域の実情を踏まえた判断が必要である。

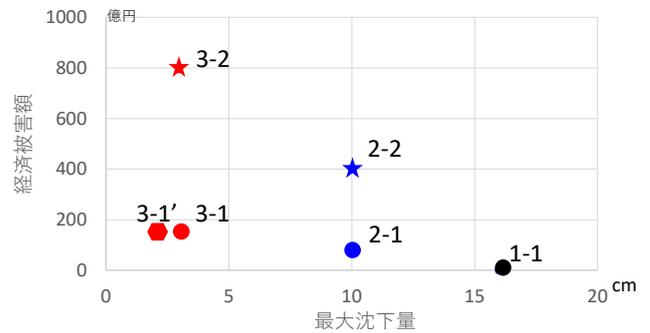


図-10 経済被害額原単位

(上:都市活動用水、左下:工業用水、右下:農業用水)

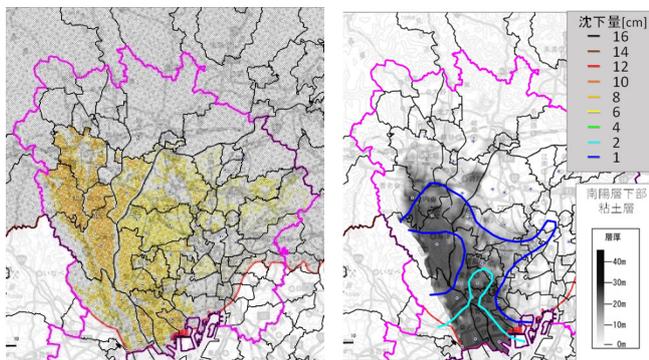


図-8 非常時地下水利用量と最大沈下量との関係(ケース3-1)
(左:非常時地下水利用量(発災60日後)、右:最大沈下量)

3-4 社会実装ユーザーインターフェースの開発

以上の検討の流れを利用者が活用しやすいように社会実装ユーザーインターフェースの開発を行った。ユーザーインターフェースについては、AWS Cloud 上に作成し、濃尾平野・関東平野の3次元水循環モデルと連携した(図-11)。具体的な活用法については、自治体等と意見交換を行った結果、主に以下2点を想定して開発を行っている。

- ①事前計画として経済等への影響を踏まえた効率的な水供給計画の立案(地下水利用規制の方法等)
- ②事前の災害対策として、新たな防災井戸の設置(位置・揚水量)

①については、開発した災害時の地下水利用シナリオが予めユーザーインターフェースに入力されているため、水の不足量に対して地下水で対応する割合と地盤沈下量の関係を開発した3次元水循環モデルによって算定し、自動的に算出される経済被害との関係から適切な地下水利用量の検討をすることができる。更に、想定した地震の震度が変わった場合の水の不足量を再計算する機能は備えているため、地震発生後の水供給計画への影響を把握することも可能である。

②については予めユーザーインターフェースに平時の地下水利用量が入力されており、水が不足する地域で、新たに防災井戸を設置(位置、揚水量)した場合の影響を検討することが可能である。

この他、渇水時の取水制限時の地下水の活用による地盤沈下への影響を把握できる機能も備えている。

災害時の地下水利用シナリオを用いる場合は、出力機能としては用途別揚水量(家庭用水、都市活動用水、工業用水、農業用水、消火用水、全用水)及び地盤沈下の時系列の分布を表示する機能を備えるとともに

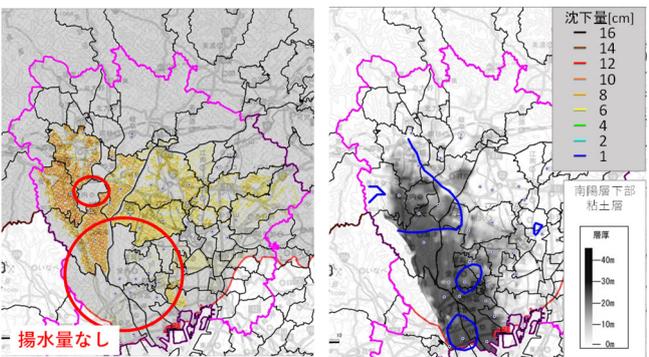


図-9 非常時地下水利用量と最大沈下量との関係(ケース3-1')
(左:非常時地下水利用量(発災60日後)、右:最大沈下量)

以上より本システムにより250メートルメッシュでの地域別くみ上げ量の影響を予測でき、地域ごとの規制を調整することにより、地下水利用量の増大が評価できることが確認できた。また、表-1の検討ケースを経済被害額と最大沈下量の関係を散布図で示すと図-10の関係になる。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の関係を定量化できることが確認できる。

ただし、経済被害額については直接的被害額しか計上しておらず、現場に活用するには、その他の影響

許容沈下量の超過箇所の分布を重ねられるため、面的に揚水量と沈下量の把握が可能となっている(図-13)。また、基盤情報として、泥質層厚分布(沈下しやすさの目安)、透水量係数分布(揚水の可能性(地下水量)の目安)(図-14)、病院(名称、病床数)、避難所(名称、施設の種類、収容人数)を表示する機能を配備しているため(図-15)、沈下量が大きくなる原因の分析や新たに設置する防災井戸の位置の目安を付けやすいようにしている。

一方、非常時の地下水の利用にあたっては、地域で適切な地下水の保全と利用のバランスを検討・議論することが必要である。また、非常時に地下水を利用できる施設や体制を確保した上で、予め立案した水供給計画を具体的に運用する際には、各井戸の取水量を管理する等の地下水の取水量制限の実効性を確保する必要がある。特に農業用水に関しては、個人で保有する井戸等も多くあり、農業用水の取水量の多くなる渇水時において水供給計画の具体的な運用については課題がある。なお、本システムは非常時の短期の地下水利用の検討に特化したものであり、平時の地下水利用等の長期の検討を行う際には別途地下水シミュレーションモデルの精緻化等、改良を行わなければならないことに留意することが必要である。

詳細内容及び利用を希望される方については、リバーフロント研究所のホームページにマニュアル等を掲載しているのでご参照願いたい。

<https://www.rfc.or.jp/sip.html>

都道府県	種別	1月	2月	3月	4月	5月	6月
愛知県	気温(%)	100	100	100	100	100	100
	雨量(%)	100	100	100	100	100	100
岐阜県	気温(%)	100	100	100	100	100	100
	雨量(%)	100	100	100	100	100	100
三重県	気温(%)	100	100	100	100	100	100
	雨量(%)	100	100	100	100	100	100

平時の地下水利用量を入力してください

平成30年地下水利用比

愛知県	上水道	100	%	農業・水保	100	%
岐阜県	上水道	100	%	農業・水保	100	%
三重県	上水道	100	%	農業・水保	100	%

地震発生時の地下水利用量(不足量に対して地下水で対応する割合)

許容沈下量を入力してください

図-12 入力イメージ

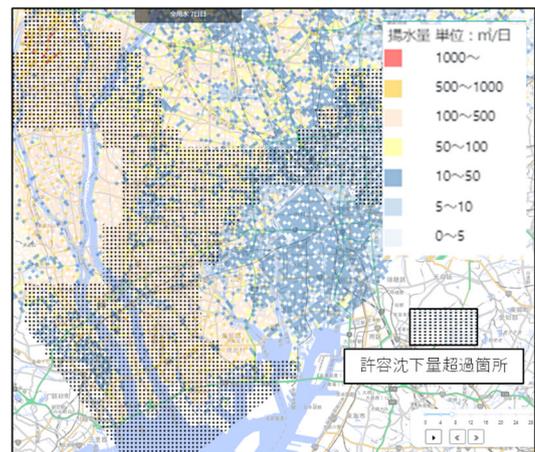


図-13 出力イメージ(揚水量と許容沈下量超過箇所との関係)

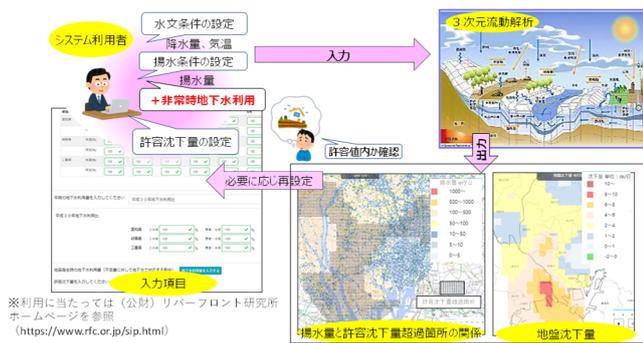


図-11 非常時地下水利用システムの構成

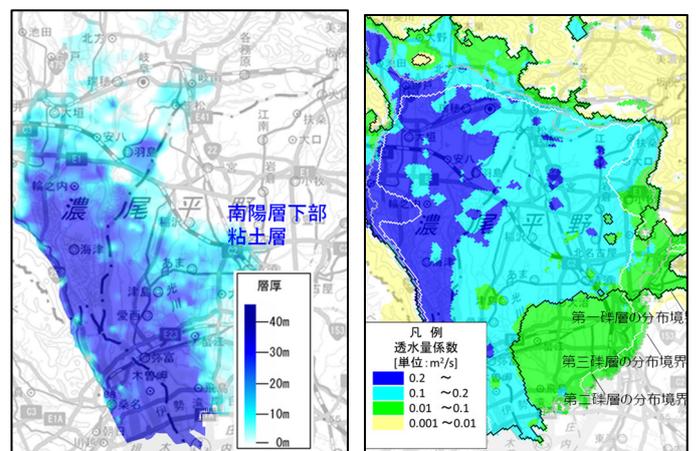


図-14 泥質層厚分布(左)、透水量係数分布(右)(濃尾平野)

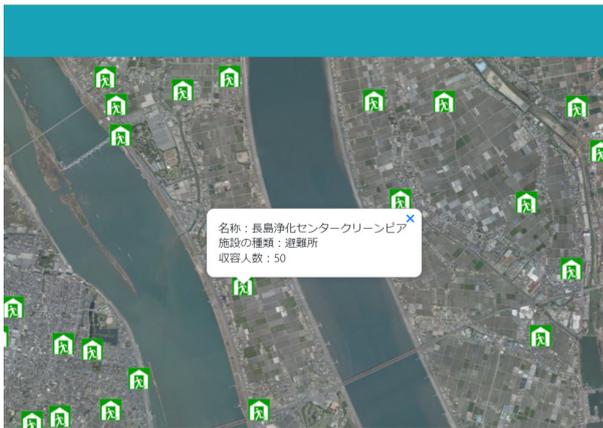


図-15 避難所の情報(濃尾平野)

<参考文献>

- 1) 沖大幹: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,「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」成果発表シンポジウム資料,2023.3.1
- 2) 沖大幹他:災害時の地下水の活用とそのマネジメント,「建築防災」2023年7月号,2023
- 3) 澤田みつ子,麓博史他:災害時地下水利用システム開発の研究,リバーフロント研究所報告第32号,2021
- 4) 麓博史,勢田昌功他:災害時地下水利用システム開発の研究,リバーフロント研究所報告第33号,2022

4. まとめと展望

研究では、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した。引き続き内閣官房水循環政策本部事務局が立ち上げた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みを実施する予定である。本研究成果が、少しでも政府・自治体を実施する非常時における地下水利用の制度設計に活用されることを期待したい。

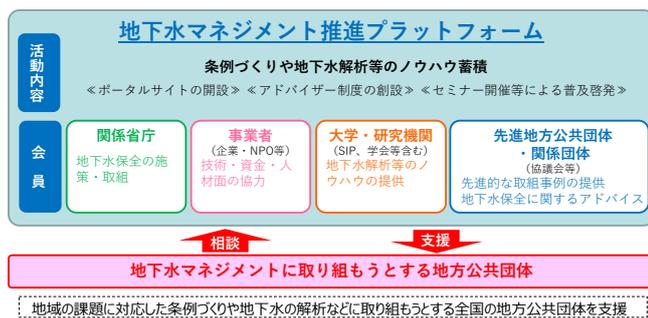


図-16 地下水マネジメント推進プラットフォーム