

50. 統合型水循環モデルによる白川流域の土地利用変化に伴う 河川、地下水挙動の把握

○菊池英明（八千代エンジニアリング株式会社・九州支店）・長谷川怜思（同・総合事業本部）・中元道男（国土交通省熊本河川国道事務所）・山田文彦（熊本大学大学院自然科学研究科）

1. はじめに

熊本地域（11市町村、約100万人）（図-1参照）は、生活用水をほぼ100%地下水に依存している特異な地域である。近年における江津湖の湧水量の減少傾向や託麻台地周辺の地下水位の低下傾向にあることや、熊本市およびその周辺域では地下水中の硝酸性窒素濃度の上昇傾向が見られる地点も出てきていることから、地下水の量と質の両面からの保全対策が急務とされている。

熊本地域では、これまでの熊本大学、熊本県・熊本市¹⁾²⁾、国土交通省³⁾⁴⁾⁵⁾等の調査・研究により広域的な水文地質構造と定性的な水循環機構が概ね把握されつつある。これらの知見から、阿蘇外輪山西麓域の水循環機構は、白川や菊池川、緑川流域の自然的・人為的水循環系を通じて河川水と地下水の交流がダイナミックに行われていることが分かってきている。このため、筆者らは、総合水管理支援ツールとして、表流水と地下水の流動を定量的に明らかにするため、熊本地域拡大流域圏（菊池川・白川・緑川流域）について地表水と地下水を一体的に解析する「統合型水循環モデル」の構築を試みた⁶⁾。本研究では、白川流域の主たる地下水涵養域である中流域の将来的な土地利用変化に応じた表流水～地下水流動の再現性の精度向上を図り、白川中流域の水田面積（土地利用）変化に応じた河川流量の挙動を定量的に把握した。

2. 熊本地域の水循環機構の概要⁶⁾

図-2に熊本地域の水環境の代表例として、白川中流域の湛水田（作付け田）の面積及び白川河川流況（陣内地点）ならびに湧水地で有名な江津湖の湧水量の経年変化を示す。



図-1 熊本地域と熊本地域拡大流域圏

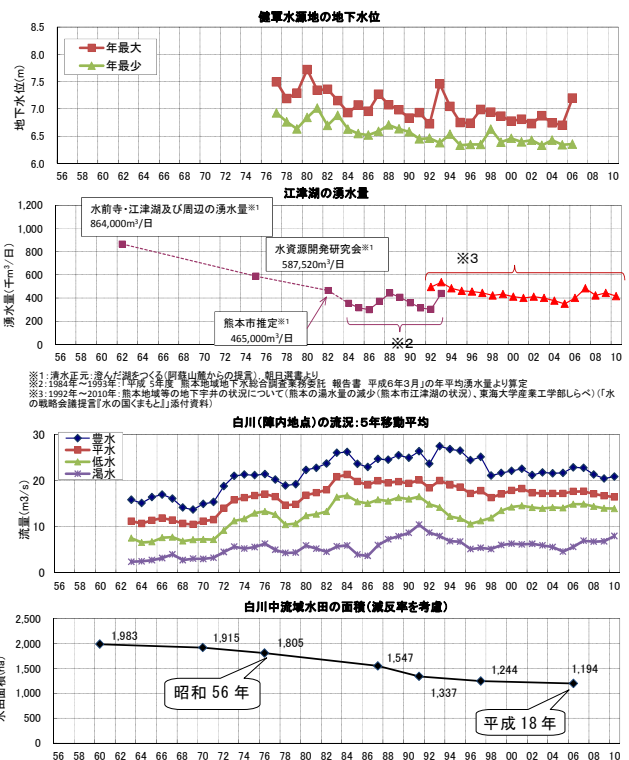


図-2 白川中流域の水環境変化と水田面積変化の現状

図-2より、白川中流域の湛水田面積の減少が、白川河川流量の増加(回復)や江津湖湧水量の減少に呼応しており、これら水環境変化の現状を勘案すると地表水(河川水)と地下水との流動に密接な関係があることが分る。

3. 熊本地域の地表水と地下水との統合型水循環モデルの概要

3.1 熊本地域の統合型水循環モデルの概要

熊本地域拡大流域圏での広域の地下水流動を精度良くシミュレートし、表流水と地下水挙動を把握するためには、深さ方向の帯水層構造を的確に反映可能な完全三次元モデルが必要である。ことから、本研究では、東京大学大学院工学系研究科登坂博行教授が開発した統合型水・物質循環解析モデル”統合型水循環モデル”⁷⁾⁸⁾を用いた。

水循環モデル化の対象領域は、白川を中心とした広域的地下水流動場として菊池川流域、白川流域及び緑川流域を全て含めた約 3,000km² の範囲とした。なお、熊本平野から有明海に流出する地下水流を考慮するため有明海海底部もモデル領域とした(図-3参照)。

水循環シミュレーションモデルの概要を表-1に示す。

帯水層モデルは、水文地質モデル検討結果より5kmごとの地質グリッド断面を作成した後、主要帯水層として沖積層・段丘堆積物、第1帯水層、第2帯水層の下面コンターを

作成し、これらの成果を基に対象領域の各帯水層分布を3次元数値モデルとして作成した。また、水文地質モデルは、「熊本県地質図 1/10万 2007(熊本県地質図編纂委員会)」、「熊本市周辺地盤図 2003(熊本県地質調査業協会)」などの資料を基本に、熊本県・熊本市の既往調査資料¹⁾²⁾等及びボーリングデータを参照した。

本モデルでは、降雨⇒地表水⇒地下水への自然循環系に加え、農業用取水、井戸取水等の人為的循環系もモデルに組み込んだ。特に、熊本地域の主な水田涵養域である白川中流域での、かんがい期取水量の把握及び、非かんがい期の管理用水の把握³⁾⁴⁾⁵⁾に加え、九州農政局の既往調査結果⁹⁾を基に阿蘇カルデラ域の取水パターンの見直しを実施した。

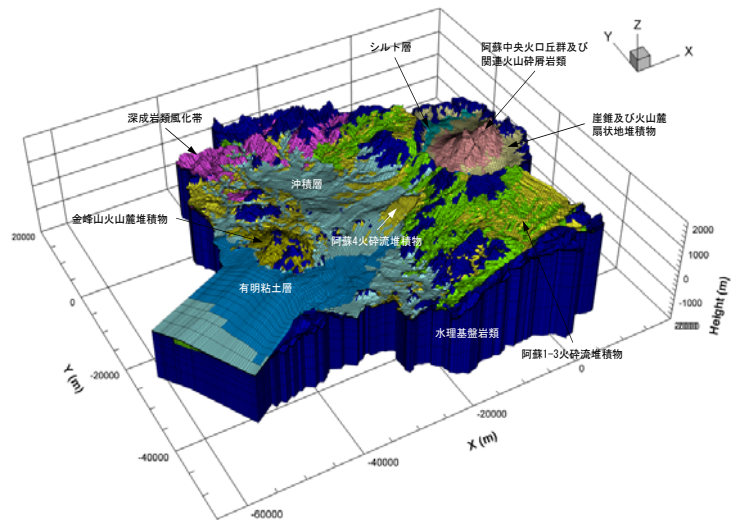


図-3 熊本地域の水文地質メッシュモデル

表-1 水循環シミュレーションモデル概要⁶⁾

項目	概要	
モデル諸元	解析領域	・東西方向 60 km×南北方向 70 km (約 3,000 km ²)、深度 -2,000m
	解析格子数	・総メッシュ数: 1,404,000、東西方向: 208、南北方向: 225、深さ方向: 30 層
	空間分解能	・100~500m
水文データ	地形	・陸域: 50mDEM、海域: 国土地理院 1/200,000 (有明海海底部地質を考慮)
	降水	・データ: 気象庁、国土交通省観測データ ・設定法: ティーセン法による流域平均雨量を設定
	気温	・データ: 気象庁観測データ ・各地域気温設定法: 領域内 8 観測所データに基づく気温減率による標高補正による
	蒸発散	・日射、気温に基づきゾーンズウェイト式より算定。
水理地質	気圧	・標準気圧
	土地利用別地表水理定数	・土地利用別(水田、畑地、森林、草地、建物用地、その他幹線用地、山地河川、沖積河川等)にマニングの粗度係数と透水係数を設定
	帯水層(地質)区分	・第1帯水層(沖積層・段丘堆積物、阿蘇・4火砕流堆積物)、布田層・花房層、第2帯水層(阿蘇・1~3火砕流堆積物)、基盤岩類(先阿蘇火山岩類等)
	地盤物性	・3D水文地質モデルを作成した後に数値モデル化(各帯水層下面標高データ)。各帯水層の水理定数データ: 絶対浸透率(透水係数)、有効空隙率等
人工水循環系	2相流物性	・各帯水層別に毛細管圧力曲線、相対浸透率曲線を設定
	農業用排水系統	・菊池川、白川、緑川、坪井川の農業用排水ネットワークを考慮 ・主要な取水堰と用排水系統を考慮 ・水田浸透能は減水深データにより設定
	水田	・堰取水量=堰掛水田面積×当該かんがいエリア平均減水深+水路管理用水 ・各堰の用水路観測データに基づき非かんがい期取水量を考慮 ・水田湛水による涵養量(公表値)を堰取水量に考慮
	人工涵養(湛水)事業	・井戸台帳データから井戸位置、ストレーナー深度(取水深度)を設定
境界条件	水道用水(地下水取水井戸)	・井戸台帳データから井戸位置、ストレーナー深度(取水深度)を設定
	土地利用	・データ: 国土数値情報土地利用細分メッシュに基づき加工 ・S30,S40,S53,S59,H1,H9,H17の土地利用図を作成(S30,S40:国土基本図より)
	固定水位境界	・海域を海水準 0m 固定、解析領域外周流域界は不透水壁境界

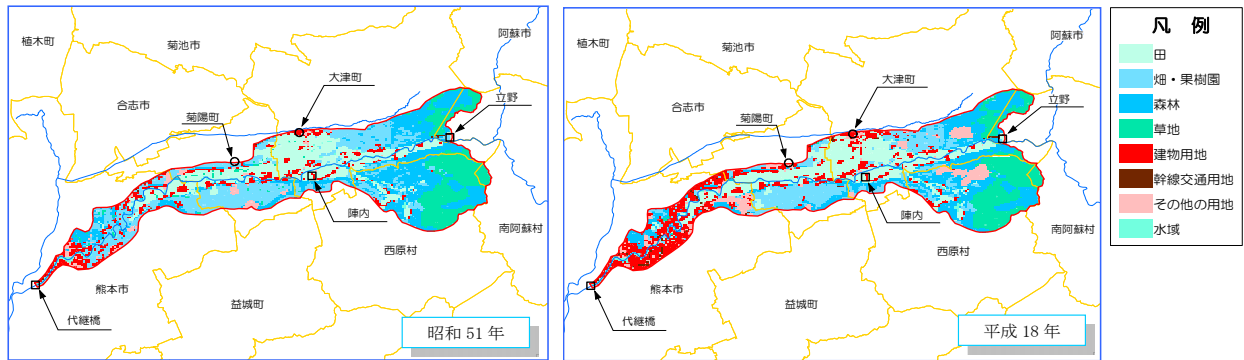


図-4 白川中流域の昭和51年と平成18年の土地利用の比較

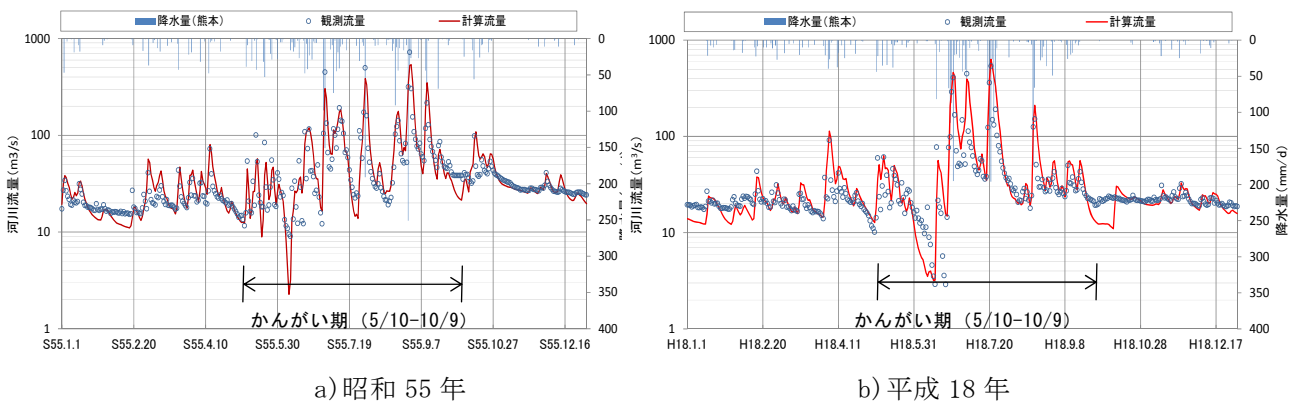


図-5 土地利用が異なる2時期の河川流量の再現結果(白川流域代継橋地点)

4. 統合型水循環モデルによる白川中流域の土地利用変化に伴う河川、地下水挙動の把握

構築した統合型水循環モデルにより、白川中流の土地利用(水田面積)の変化に伴う、河川、地下水の挙動の把握を行った。まず、水循環モデルの土地利用変化への適用性を検討するため、土地利用の異なる2時期(昭和55年、平成18年)について、表流水(河川水)、地下水の再現計算を実施しその適応性を確認し、次に、白川中流域の主たる地下水涵養域である水田の湛水面積(減反率)を変化させ、土地利用(水田面積)の変化と河川、地下水挙動との関係を把握した。

4. 1 土地利用の異なる2時期の河川流量、地下水位の再現計算結果

昭和55年、平成18年の白川中流域の土地利用の比較を図-4に示す。

図-4に示すように、白川中流域では、熊本市及びその周辺都市での都市化の影響により、建物用地が増加し、水田面積が減少(約30%程度:図-2参照)していることが分る。

これらの土地利用をベースにした2時期の河川流量の再現計算結果について代継橋地点を代表例として図-5に示す。

図-5より、土地利用の異なる昭和55年、平成18年とも、かんがい期の農業用水取水による河川流量の減少や降雨による河川流量の増加とピーク流量後の低減などの再現状況は良好である。加えて、非かんがい期では非降雨期の低水流量を概ね再現できている。

次に、地下水位変動の再現計算結果について大津地点を代表例として図-6に示す。

図-6より、観測値に比べ計算値の水位が高い傾向にあるが、雨が多い時期と少ない時期との経年的な地下水位の変動は再現できている。

このように本研究で構築した熊本地域の統合型水循環モデルは、土地利用の変化に呼応した流

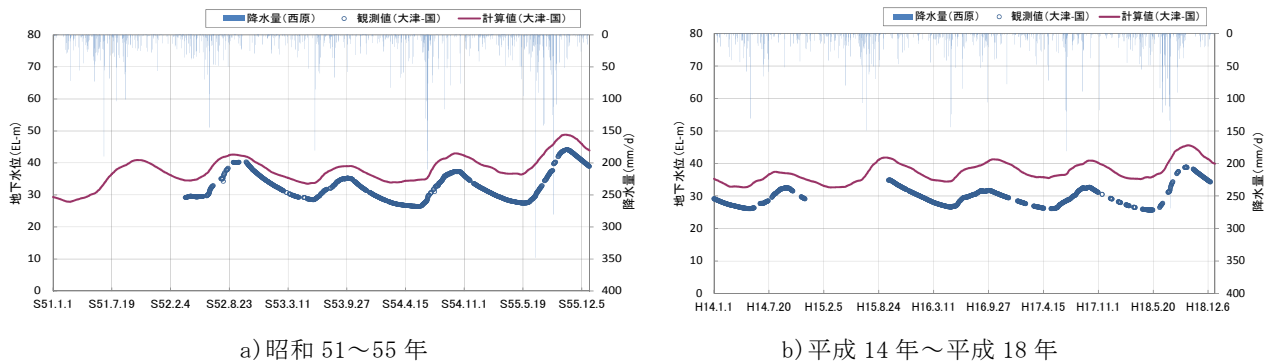


図-6 土地利用が異なる 2 時期の地下水位の再現結果（白川流域大津地点）

出・流動機構を適切に再現していると考えられる。

4. 2 白川流域の土地利用変化に伴う河川、地下水挙動の把握

白川中流域の水田の減反率の変化（水田面積の変化）に伴う、河川取水量、白川の河川流量（陣内、代継橋）、地下水涵養量及び江津湖での湧水量の目安となる大六橋地点流量の変化を図-7 に示す。

図-7 より、減反率が小さくなるに従い、水田かんがい面積が増加し、河川取水量が増加する。その河川取水量の増加に伴い、河川流量は減少し、対照的に地下水涵養量は増加する。また、江津湖の湧水量との関連性が高い、大六橋の流量も増加することが分る。

このように、白川流域における河川、地下水の挙動がトレードオフの関係にあることが確認できた。

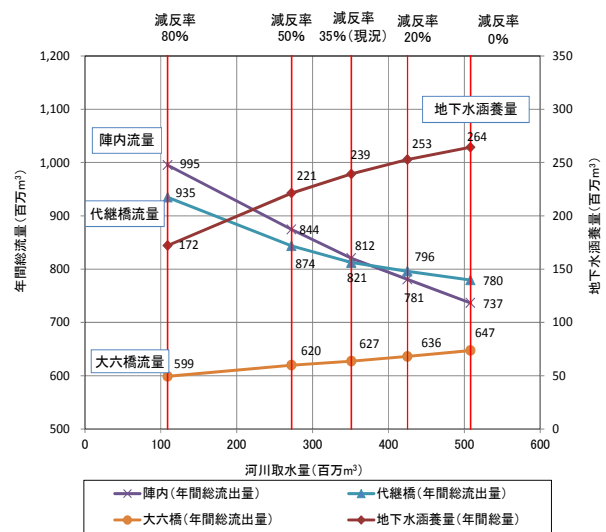


図-7 河川取水量と河川流量、地下水涵養量との関

5. おわりに

本研究により、統合型水循環モデルにより、白川流域では、河川流量の増加（減反率の減少）により、地下水涵養量が増加し、江津湖の湧水量の目安となる大六橋の流量が増加する水循環機構の構図が適切に表現することができた。これにより、河川流量の減少と涵養量、湧水量の増加と相反する条件下での適正な河川流量の設定方法について具体をする予定である。

謝辞：本数値モデルの作成に際しては、株式会社地圏環境テクノロジー技術開発部長の森康二氏に大変お世話になりました。御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 熊本県・熊本市（1995）：平成 6 年度 熊本地域地下水総合調査報告書
- 2) 熊本県・熊本市（2005）：熊本地域地下保全対策調査
- 3) 国土交通省熊本河川国道事務所（2009）：平成 20 年度 熊本地域水循環機構調査業務
- 4) 国土交通省熊本河川国道事務所（2010）：平成 21 年度 熊本地域水循環機構調査業務
- 5) 国土交通省熊本河川国道事務所（2009）：平成 20 年度 熊本地域水循環機構調査業務
- 6) 菊池英明・大石朗ら：熊本地域における地表水と地下水の統合型水循環モデル構築の試み, 2012 年秋季講演会講演要旨, 208-213, 公益社団法人 日本地下水学会
- 7) 登坂博行(2006)：地圏水循環の数理 - 流域水環境の解析法, 東京大学出版会
- 8) 登坂博行・小島圭二ら(1996)：地表流と地下水流を結合した 3 次元陸水シミュレーション手法の開発, 日本地下水学誌, 第 38 巻, 第 4 号, 253-267, 地下水学会誌
- 9) 九州農政局計画部資源課（1994.4）：阿蘇谷の地下水 - その持続的な利用のために - 農業用地下水調査 利用適正化調査 地下水位長期観測調査 阿蘇谷地区 調査報告書