

|             |  |         |         |  |
|-------------|--|---------|---------|--|
| 氏 名 (本籍)    | ヘンダ ジェラスィ (チュニジア)  |         |         |  |
| 学 位 の 種 類   | 博 士 (理 学)  |         |         |  |
| 学 位 記 番 号   | 博 甲 第 5898 号   |         |         |  |
| 学位授与年月日     | 平成 23 年 7 月 25 日   |         |         |  |
| 学位授与の要件     | 学位規則第 4 条第 1 項該当   |         |         |  |
| 審 査 研 究 科   | 生命環境科学研究科  |         |         |  |
| 学 位 論 文 題 目 | <b>Hydrogeochemical and Numerical Simulation Approaches to Reveal Mechanisms Regulating Groundwater Quality in the Coastal Aquifer of Odawara Region, Japan</b><br>(小田原地域沿岸帯水層における地下水水質形成メカニズムの解明に向けた水文地球化学・数値シミュレーション統合アプローチ) |         |         |  |
| 主 査         | 筑波大学准教授  | 博士 (理学) | 山 中 勤   |  |
| 副 査         | 筑波大学教授   | 理学博士    | 田 瀬 則 雄 |  |
| 副 査         | 筑波大学准教授  | 博士 (理学) | 辻 村 真 貴 |  |
| 副 査         | 筑波大学名誉教授   | 理学博士    | 田 中 正   |  |

### 論 文 の 内 容 の 要 旨

古くから地下水利用が活発に行われてきた神奈川県西部の足柄平野では、その弊害として中央部における自噴井戸の減少がクローズアップされ、様々な研究が実施されてきた。一方、平野南部に位置する小田原地域でも地下水の塩水化が報告されており、過剰な揚水活動によって引き起こされうる海水侵入にその原因があると推定されていたが、水-岩石相互作用等を含む水文地球化学プロセスと水質形成の関係や当該地域における海水侵入の具体的メカニズムは明らかでなかった。そこで本研究では、水文地球化学的調査と数値シミュレーションという2つのアプローチを併用して、上記の点を明らかにすることを目的とした。

まず、小田原地域の不圧井戸・被圧井戸の双方を対象としてのべ112の地下水サンプルを採集し、化学分析・同位体分析を実施した。また同時に、小田原市役所が所管している井戸水位・揚水量データ等の収集・編纂を行い、これらの既存資料も踏まえて水質データの解析を行った。その際、Piper ダイアグラムや Stiff ダイアグラムといった従来の解析手法に加え、各成分の等量比から水-岩石相互作用の種類を推定する Source-rock deduction アプローチを適用した。これらの複合的な解析の結果、当該地域の水質形成において最も卓越したプロセスは不圧・被圧帯水層ともにケイ酸塩鉱物の風化であることが判明した。また、不圧帯水層に関しては、地質ユニットの境界部付近でイオン交換を通じたナチュラルソフトニングが、農用地が卓越する郊外では人為起源物質の混入が、それぞれ水質形成に重要な役割を果たす場合があることが示された。さらに、被圧帯水層においては、揚水活動の盛んな沿岸工業地域で海水侵入およびそれにとまうリバースソフトニングが卓越していることが明らかとなり、海水侵入の形態としては塩水/淡水境界面の側方移動よりも、境界面の上方屈曲であるアップコーニング現象が重要であるとの示唆を得た。

上述の水文地球化学的調査結果から推定された海水侵入の形態や規定要因を明らかにするため、のべ48の実験ケースを設定した数値シミュレーションを行った。実験ケース間の計算結果の比較から、水平方向の動水勾配が塩淡水境界面の水平シフトを、内陸部における水理水頭の鉛直プロファイルが塩淡水境界面の形状を

それぞれ左右する一方で、沿岸部での揚水量は主にアップコーニングの高さを規定することが明らかとなった。また、帯水層の透水係数と上流側の水頭境界条件として適切な値を設定すれば、小田原地域沿岸の揚水井におけるアップコーニング現象が再現でき、近年の揚水量の減少傾向を加味すれば水理水頭・塩分濃度の推定値も実測値と比較的良好一致を見せることが確認された。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

地下水の過剰揚水は、井戸水位の低下や自噴域・量の縮小、あるいは地盤沈下などを引き起こす。沿岸域においては、特に海水侵入とそれに伴う地下水水質の劣化が顕著である。これまでに世界各地でそうした報告がなされているが、研究の蓄積は未だ十分とは言えない。なぜなら、これらの現象は地質構造や揚水量の空間分布といった場の条件に対する依存性が極めて高いため、研究成果の一般化が困難なためである。したがって、地下水利用に伴う種々の弊害を回避するためには、各地域の実情に応じた現象理解が求められる。

本論文では、地下水利用による顕著な水位低下と地下水の塩水化が報告されている神奈川県小田原地域の沿岸帯水層を研究対象として、水文地球化学調査と数値シミュレーションという2つのアプローチによって地下水の水質形成メカニズムが詳細に検討された。水文地球化学調査の成果としては、水質形成を規定する主要プロセスが同定され、その空間構造が地形・地質・人間活動影響などとの関係性とともにより明らかになった点が挙げられる。当該地域における先行研究は比較的豊富であるが、沿岸域に焦点を当てた研究例は少なく、また水-岩石相互作用を含む水質形成の包括的理解も得られていなかった。こうした点を踏まえれば、本論文で提示された概念モデルには学術的な新規性が認められる。

一方、数値シミュレーションでは、地下水水質の劣化という点で最も深刻な影響を及ぼす海水侵入現象に焦点を絞り、そのメカニズムが検討された。その結果、海水侵入を規定する3つの要因が同定され、また当該地域の特定の井戸でのみ塩水化が顕著であることの理由が明確に示された。海水侵入は密度流を伴う現象であるため、安定した数値解を求めることが難しく、非定常3次元の広域地下水流動シミュレーションの事例は少ない。本論文では、比較的単純な地質構造や境界条件を設定しながらも、多数の実験ケースを設定した試行錯誤の結果、実測値と概ね良好な一致を見せる計算結果が得られている。また、当該地域固有の地質構造や地下水流動場を踏まえて、海水侵入の規定要因が定量的に明らかにされた。これらの点は特筆に値する学術的進歩と言える。さらに、内陸部における地下水利用による水理ポテンシャル場の攪乱が沿岸域の海水侵入に顕著な影響を及ぼし得るという結果は、広域的な地下水管理の必要性を示す極めて重要な知見と言える。

平成23年6月9日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。