

氏名 利部 慎

#### 主論文審査の要旨

本論文では、アジア沿岸域の都市のひとつであるインドネシアのジャカルタを研究対象にして、近年の急激な人口増加に伴う過剰揚水が引き起こした地域の地下水流動の変化の実態を把握する過程で、そこに見られる若い浅層地下水の強制的な誘発涵養による地下水の若返り現象を地下水の年代トレーサーの繰り返し測定によって見出している。またその要因を把握するために3次元非定常地下水シミュレーションを実施することで、都市の発展と揚水量変かに伴う地域の地下水帯水層で発生している現象の詳細な検証を行った。都市域の広域地下水流動が人為的要因によって大きく変動することは良く知られているが、その過程で地下水の若返り現象が発生するという事実はこれまで報告された例は無く、本研究のオリジナリティーのひとつである。無機溶存イオン成分や、 $CFCl_3$ 等の若い地下水年代トレーサーを駆使することで、地下水流動の実態を詳細に把握すると共に、過去の研究成果と同じ観測井戸で実施された $^{14}C$ 年代測定の比較を行い、年次経過に伴う明らかな地下水年代の変化（若返り）を確認できた点は高く評価できる。さらに現象を再現するために使用した3次元非定常シミュレーションは、都市域の過剰揚水に伴う地下水ポテンシャル低下域に向かうフラックスを適確に再現することに成功し、都市の発展と共に自然状態の地下水流動から人為的な影響を受けた地下水流動へと大きく変遷してゆく実態を詳述できており、これまでの地下水シミュレーションの利用方法を踏み越えた新たなチャレンジ的な成果として関連学会においても高く評価されている。

本論文は7章より構成され、第1章は序論、第2章で対象研究地域としたJakartaの既存研究に基づく地質および水文特性が述べられ、第3章では現地調査の期間、採水時期、持ち帰った水資料の分析項目と分析方法が記載されている。第4章では、現地で収集した観測井のポテンシャルの時系列変化や空間分布とその変遷、水質、安定同位体比、トリチウム、 $^{14}C$ 年代、 $CFCl_3$ 、 $SF_6$ 、等の年代トレーサー、の分析結果を基にした、地域の地下水の実態を説明している。第5章では、3次元非定常地下水シミュレーションについて、モデルの境界条件、揚水量の設定方法、モデルの検証方法を説明している。第6章は考察部分で、これまでの分析やモデルシミュレーションを基に、Jakarta南部・北部の地下水流動特性、地下水年代トレーサーの測定結果を基にした地域の地下水流動の実態、過去の研究成果と同じ観測井戸で実施された $^{14}C$ 年代測定の比較に基づく地下水年代の若返りの実態と、 $CFCl_3$ 等の若い年代トレーサーによる実態の追証、非定常シミュレーションによる都市ポテンシャル低下域でのFluxの変遷予測と地域全体での地下水流動変化に伴う涵養源変化の提示を行っている。最後に $^{14}C$ 年代測定結果によって地下水の若返り率(“Rejuvenation Ratio”)を定義し、若い地下水の強制涵養指標である $CFCl_3$ 濃度や、前述の非定常シミュレーションに基づくポテンシャル低下域へ向かうFlux量との関係を考察している。これらを踏まえて第7章で全体の結論が述べられている。

日本を含む多くの沿岸アジアの都市域の地下水では、過剰揚水に対する揚水規制が行われた結果、水位回復によって地下水流動が乱されてしまったため地域で発生している地下水流動の変遷情報が打ち消されてしまい、これまで明確な報告が見られなかったが、ジャカルタ地域では揚水規制が充分機能していないことにより、水位回復現象に伴う擾乱が殆ど存在しておらず、結果として本論文で確認されたようなユニークな成果を得ることが出来たものと考えられる。

本研究により、急激な都市化の進む Jakarta 地域の地下水流動機構において、都市化に伴う地下水過剰揚水が地形勾配と帯水層の透水性上に基づく自然状態の地下水流動を乱し、汚染に脆弱な若い浅層地下水や海水が深層地下水へと引き込まれている実態が、複数の水文化学的な手法や3次元地下水流動シミュレーションにより明らかにされた。地域の主要水資源としての地下水への依存が高まる Jakarta 地域において、その持続的利用のために、実効性のある地下水揚水規制の枠組み作りや代替水資源の確保といった対策を早急を実施し、地盤沈下等の地下水問題がこれ以上拡大しないように適切な地下水保全が図られることが望まれる。地下水は、経済的に貧しい国やインフラ整備が遅れている発展途上国などにおいて、必要不可欠な飲用水源として貴重な資源となっている。一方で、アジアの多くの沿岸大都市において近年の急激な人口増加に伴う地下水の過剰揚水により、地盤沈下や海水浸入、汚染された浅層地下水の深層への浸入などといった問題が顕在化している。本研究の手法や成果は、これらの地域の地下水問題の解決に有効に役立つことものと確信している。

第5章の内容については、一部は Hydrological Process に投稿受理され WEB 公表されており、また Journal of Hydrology に投稿し、現在査読修正中の状態である。第6章の内容については、Journal of Asian Earth Sciences に投稿受理され 40 巻に公表されており、一部は日本水文学会誌に受理され第 41 巻 1 号に掲載決定の状態である。その他本研究に関連して、国際学会 3 件・国内学会 8 件の発表も行っている。よって本審査委員会は、本論文が博士（理学）の学位を授与すべき十分な内容を有するものと判断した。

#### 最終試験の結果の要旨

審査委員会は、学位論文提出者に対して当該論文の内容および関連分野全般について試問を行った。その結果論文提出者は、当該研究分野および周辺領域について十分な知識と理解力を有していると判断した。また学位論文提出者は英文論文 2 篇と邦文論文 1 篇を既に公表し、さらに英文論文 1 篇を現在査読修正中である。また国際学会での発表経験も 5 回以上あり十分な語学力を有すると判断された。以上の理由から、学位論文提出者は研究者として十分な研究遂行能力を有し、語学力も学位授与に付随して要求されるレベルに達していると認められた。以上の結果より、最終試験は合格と判断した。

審査委員	複合新領域科学専攻生命環境科学講座担当教授	嶋田 純
審査委員	複合新領域科学専攻生命環境科学講座担当教授	小池 克明
審査委員	総合地球環境学研究所教授	谷口 真人
審査委員	理学専攻地球環境科学講座担当准教授	一柳 錦平