

ベトナム紅河デルタにおける不圧および被圧地下水位のトレンド解析

首都大学東京	都市環境学部	学生会員	○祭田 佳奈江	Duong Du Bui
首都大学東京	都市基盤環境学域	正会員	河村 明	井芹 慶彦
首都大学東京	都市基盤環境学域	正会員	天口 英雄	中川 直子

1. はじめに

紅河デルタはメコンデルタと並ぶベトナムの二大デルタであり、首都ハノイ(人口約 620 万人で北緯 21°東経 105°に位置する)は紅河デルタの主要都市である。ハノイの年降水量は約 1550mm であり、その 70~80%が 5~10 月の雨季に集中している。紅河は浮遊物質の濃度が非常に高く、またインフラの未整備による汚染のため、ハノイでは生活用水、工業用水のほぼ 100%を地下水に依存している。ハノイでは急激な人口増加による地下水の過剰取水により、地下水位の急激な減少や井戸枯れ、地盤沈下など様々な問題が生起している。こうした地下水資源問題を解決するためには、まず地下水位の変動特性の把握が必要不可欠であるが、近年まで紅河デルタの地下水位データはデータベース化されていなかった。これに対し、国家水文地質データベースプロジェクト(National Hydro-geological Database Project)が立ち上げられ、1995 年以降の 11 年間のデータについてデータベース化が推し進められた。しかし、現時点では一般公開されておらず、同プロジェクトの関係者のみが入手出来る状況となっている¹⁾。このため紅河デルタにおける帯水層構造や地下水位の詳しい解析は未だ行われていない。そこで本研究では、国家水文地質データベースプロジェクトによる紅河デルタの地下水位データを用い、不圧および被圧地下水位のトレンド解析を Mann-Kendall 検定により行うとともに、紅河デルタにおける地下水位低下の空間的特性についても検討を行った。

2. 用いた不圧および被圧地下水位データ

本研究で用いるデータは紅河デルタにおける完新世の不圧帯水層 (Holocene Unconfined Aquifer, 以下 HUA と記す)および更新世の被圧帯水層 (Pleistocene Confined Aquifer, 以下 PCA と記す)の地下水位データであり、**図-1**にこれらの地下水位観測点(全 77 観測点)を示す。HUA および PCA の両方の地下水位を観測するのは 34 観測点、HUA のみの観測は 21 観測点、PCA のみは 22 観測点となっている。観測点により観測期間や観測数は異なるが大部分において 1995 年 1 月から 2005 年 12 月までの 11 年間分のデータがあり、観測間隔についてはおよそ 1999 年までは 3 日に一度、2000 年以降は 1 日に一回観測がなされている。

3.トレンド解析手法

本研究ではトレンド解析手法として Mann-Kendall 検定²⁾を用いた。Mann-Kendall 検定はデータ数を N 、地下水位観測値を $x_1, x_2, \dots, x_N[m]$ 、同値となるグループ数を n 、各同値グループ内の数を $e_i (i=1 \sim n)$ とし、以下の統計量 $S, u, V(S)$ を求める。 u 値を基に帰無仮説をトレンド無しとして有意水準 α で両側検定を行った。

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i) \quad \text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1, \theta > 0 \\ 0, \theta = 0 \\ -1, \theta < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$u = (S + m) / \sqrt{V(S)} \quad m = \begin{cases} -1, S > 0 \\ 0, S = 0 \\ 1, S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$V(S) = 1/18 \left\{ N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^n e_i(e_i-1)(2e_i+5) \right\} \quad (3)$$

トレンドの傾きの計算には、Kendall 傾き²⁾の計算式を不平等間隔の観測データへと拡張した以下の式(4)を用いた。ただし $t(i), t(j)$ は i, j に対する時系列上の時点(日数)である。 $\beta > 0$ の場合増加傾向、 $\beta < 0$ の場合減少傾向である。

$$\beta [m/day] = \text{Median} \left((x_j - x_i) / (t(j) - t(i)) \right) \quad (4)$$

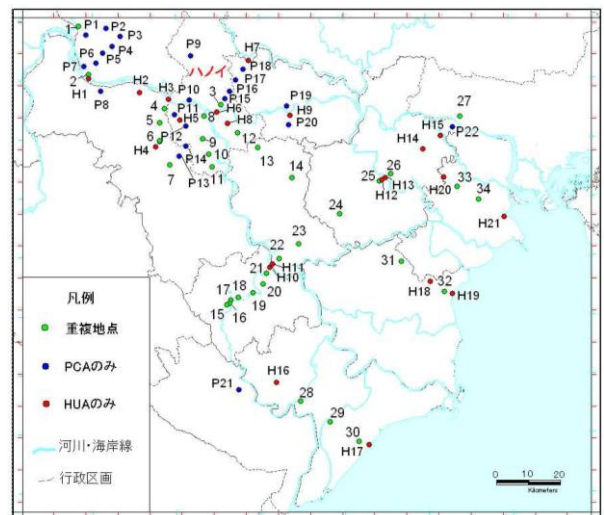


図-1 地下水位観測点

キーワード ベトナム紅河デルタ, 地下水位, 不圧, 被圧,トレンド解析

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 都市環境学部 E-mail : matsu@ed.tmu.ac.jp

4. 地下水位のトレンド解析

まず、HUA および PCA の地下水位観測点(総数は 55 および 56) それぞれについて通年(全データ)および雨季・乾季毎に Mann-Kendall 検定を行った結果を**表-1**に示す。検定統計量 u が有意水準 5%を満たさない場合はトレンド無し、5%を満たす場合は弱いトレンド有り、特に 1%を満たす場合は強いトレンド有りと判断した。**表-1**より、PCA は通年・雨季・乾季に関わらず同じ結果となっており、56 地点中 54 地点で強い減少傾向にあることがわかる。一方、HUA では強い減少傾向のみならず、3 割程度の観測点において強い増加傾向が見られる。また、通年・雨季・乾季の区分ではあまり大きな変化は見られない。

次に、各観測点の通年・雨季・乾季それぞれに対して式(4)の β を求め、地下水位のトレンドの空間分布について検討を行った。**図-2**~**図-7**は HUA・PCA それぞれの通年・雨季・乾季での β 値の空間分布を示しており、青が増加傾向、赤が減少傾向である。**図-3, 5, 7**より、PCA では通年・雨季・乾季を通して紅河デルタ全体として減少傾向にあり、特に沿岸部とハノイ市で強い減少傾向にある。**図-2, 4, 6**より HUA についてはトレンド傾向が PCA のそれとはかなり異なっており、特に増加傾向の地域が沿岸部とハノイ市北部、デルタ北部に広がっている。沿岸部の HUA における地下水位上昇傾向は、海水位の上昇によるものと考えられ、内陸部における HUA の水位上昇は水田の開発に伴う地下水涵養効果と推察される。また、HUA の強い減少傾向は、ハノイ市から東西に広がる領域に見られ、同地域における地下水位減少傾向は、HUA からの大量揚水が原因であると考えられる。

5. むすび

本研究では、紅河デルタにおける不圧および被圧の地下水位のトレンド解析を行った。その結果、PCA は季節によるトレンドの変化がなく、通年・雨季・乾季にかかわらずほとんどの地域において減少傾向にあり、特に沿岸部とハノイ市で強い減少傾向にあることが示された。HUA は強い増加傾向を示す地域が 3 割程度あり、それら増加傾向の地域は、沿岸部とハノイ市北部であることが示された。また、ハノイ市では HUA・PCA の双方の地下水位が強い減少傾向にあり、両帯水層からの大量の揚水が行われていることが示唆された。

参考文献

- 1) Duong Du Bui, 河村明, 天口英雄 : The Red River delta, Vietnam: An overview of groundwater resource, 土木学会関東支部研究発表会講演集, 第 36 回, CD-ROM 版(II-020), 2009.
- 2) 徐宗学, 竹内邦良, 石平博 : 日本の平均気温・降水量時系列におけるジャンプ及びトレンドに関する研究, 水工学論文集, 第 46 巻, pp.121-126, 2002.

表-1 観測点のトレンド

	HUA			PCA		
	通年	雨季	乾季	通年	雨季	乾季
強い増加傾向	19	17	19	1	1	1
弱い増加傾向	0	2	3	0	0	0
トレンド無し	9	9	7	1	1	1
弱い減少傾向	1	3	0	0	0	0
強い減少傾向	26	24	26	54	54	54

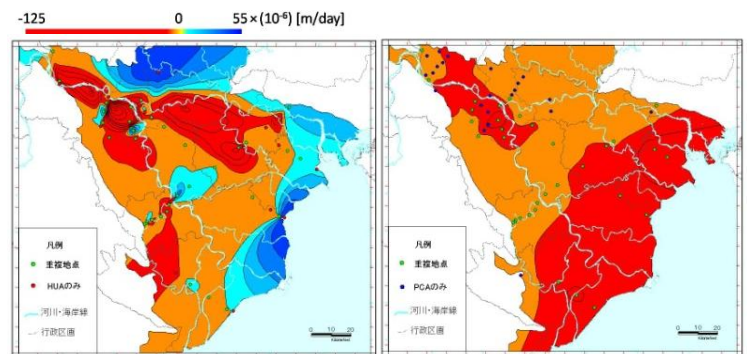


図-2 HUA 通年

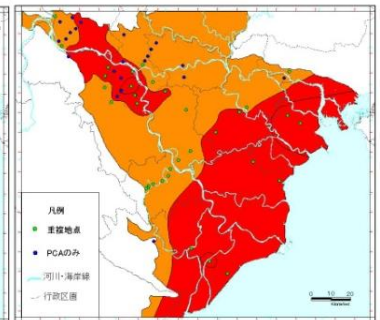


図-3 PCA 通年

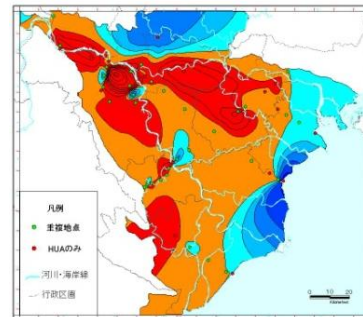


図-4 HUA 雨季

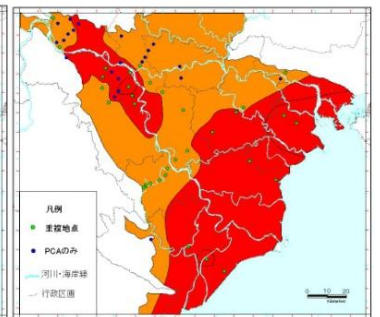


図-5 PCA 雨季

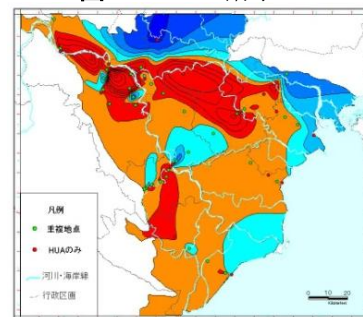


図-6 HUA 乾季

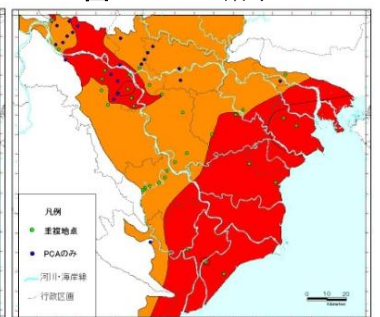


図-7 PCA 乾季