

地下水位の潮汐応答観測データを用いた淡水レンズ帯水層の水理性状の推定
 Evaluation of hydraulic properties of a freshwater-lens aquifer using
 monitoring data of tidal fluctuation of groundwater level

○白旗克志, 吉本周平, 石田聡, 今泉眞之

○SHIRAHATA Katsushi, YOSHIMOTO Shuhei, ISHIDA Satoshi, IMAIZUMI Masayuki

南西諸島に広く見られる透水性の地層からなり地表水に乏しい地域では、農業用水源を地下水に求めざるを得ない。不透水性基盤が海水面下にある沿岸域や島嶼では、海水が内陸に向かって楔上に淡水地下水の下に浸入しており、ひとつの島全域で不透水性基盤が深い条件の場合、地下の塩水上にレンズ形状で浮かぶ淡水地下水（淡水レンズ）の開発利用が期待される。

淡水レンズ開発のためには、帯水層の水理性状の把握が必要不可欠である。そのための方法として、一般的な地下水開発のための調査においても行われる揚水試験による方法が考えられるが、特に透水性が高い沿岸地域や島嶼地域の場合、揚水による水位低下量が小さいことや、揚水を行わない状態でも地下水位が潮汐に応答して変動するため、揚水試験のみで精度良く水理性状を求めることが困難な場合が多く、他の方法も用いて総合的に帯水層の水理性状を把握することが望ましい。

本発表では、淡水レンズ開発が期待されている島嶼において、地下水位が海岸の潮位変動の伝播によって周期的に変動することを利用して、その経時的な連続観測データに対して、基本的な三角関数の計算による調和解析手法と不圧帯水層に関する水位伝播の理論式を適用することにより、帯水層の水理性状を推定する方法を紹介する。

一般に潮汐変動は一定の周期をもつ複数の三角関数の和で表され、個々の周期の三角関数で表される潮汐の成分は分潮と呼ばれる。各三角関数に含まれる、振幅と遅角を表す定数を調和定数と呼び、観測された潮位から各調和定数を求めて個々の分潮に分解することを調和解析又は調和分解という。

実際の分潮は非常に多く気象庁ホームページの分潮一覧表では60分潮が挙げられているが、実用上重要なのは、主太陰日周潮 O_1 (25.82 時間)、日月合成日周潮 K_1 (23.93 時間)、主太陰半日周潮 M_2 (12.42 時間) 及び主太陽半日周潮 S_2 (12.00 時間) の4つ（括弧内は周期）で、主要4分潮とも呼ばれる。

連続的な潮位の観測データが与えられたとき、その成分である各分潮の調和定数は、上記のように周期が既知である場合、フーリエ級数展開の方法で基本的な三角関数の計算によって分潮ごと独立に算出することができる。潮位の伝播により周期的に変動する内陸の地下水位の場合も同様である。したがって海岸に近い位置とその内陸に位置する2箇所において、潮位の連続データ又は潮汐応答する地下水位の連続データがあれば、各分潮について、その2地点間の水位変動伝播の減衰比と遅れ時間を算出することができる。

2地点間の不圧地下水位の周期的変動の伝播について減衰比又は遅れ時間が与えられた時、帯水層の均一性などの一定の仮定のもとで、次の不圧帯水層における水位伝播の理論式によって、水頭拡散率（＝透水量係数／貯留係数）を求めることができる。

(独)農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 National Institute for Rural Engineering, National Agriculture and Food Research Organization

キーワード：地下水位, 潮汐応答, 連続観測, 調和解析, 水頭拡散率, 淡水レンズ, 多良間島

$$h_x/h_0 \text{ (減衰比)} = \exp(-x\sqrt{(\pi S/t_0 T)})$$

$$t_i \text{ (遅れ時間)} = x\sqrt{(t_0 S/4\pi T)}$$

(h_x : 内陸地点の振幅, h_0 : 海岸地点の振幅, x : 2地点の海岸からの距離の差,
 t_0 : 分潮の周期, S : 貯留係数, T : 透水量係数 (=透水係数×帯水層厚))

また帯水層厚と貯留係数が既知であれば、上で求めた水頭拡散率 (T/S) に組み合わせて帯水層の透水係数が算出される。

淡水レンズの農業用水源開発が検討されている沖縄県の多良間島において、海岸と内陸（海岸から約 1 km）の 2 箇所地下水観測孔における 10 ヶ月間 1 時間毎の自記水位観測データを用いて、例えば 0_1 分潮の伝播に関する減衰比と遅れ時間を求めると、減衰比 14.7%, 遅れ時間 487 分であった。これに 2 地点の海岸からの距離を考慮して上記の伝播式から求められる水頭拡散率 ($m^2/秒$) は、減衰比から求めた場合 10.2, 遅れ時間から求めた場合 9.5 となった。

同じようにして主要 4 分潮の他の 3 分潮の減衰比及び遅れ時間からもそれぞれ水頭拡散率を求めて得られた合計 8 つの水頭拡散率の平均値は、約 $10m^2/秒$ であった。

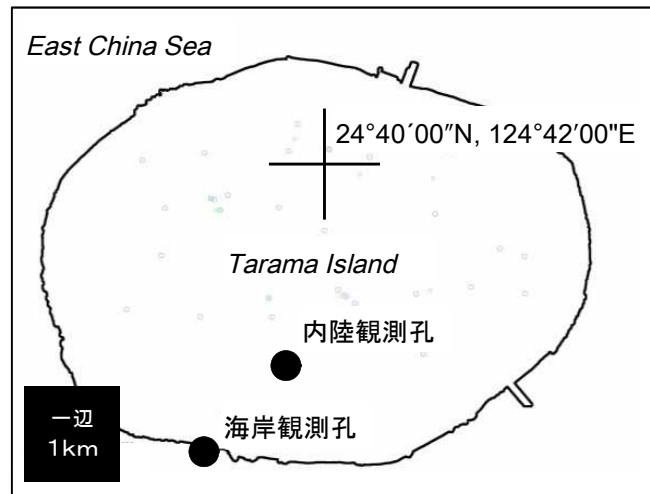
この方法は、海岸からの距離が異なる 2 地点の水位の経時的な連続観測データがあればその地点間の全体的な水頭拡散率が算出されるため、一定の地域範囲に多数配置された観測孔の水位データに適用すれば、帯水層の水理性状の地域的な不均質を定量的に明らかにすることができる。

なお上にも記した帯水層定数の関係から、水頭拡散率が明らかとなった時点で、地下水の開発利用の検討のために重要な他の要素である帯水層厚、透水量係数、透水係数、貯留係数を明らかにするためには、左の 4 つのうち少なくとも 2 つを知る必要がある。例えば帯水層厚について地質ボーリングあるいは既存の柱状図等資料収集によって、貯留係数について複数試料の室内有効間隙率試験あるいは複数回の揚水試験の実施によって、それぞれ把握するなどが考えられる。

本研究の一部は、農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における地球温暖化対策のための緩和及び適応技術の開発」(課題番号 45150) の支援を受けて実施した。沖縄総合事務局農林水産部及び土地改良総合事務所には、観測データ提供のほかあらゆる面で御協力をいただいた。現地調査においては、多良間村役場ならびに地元の方々にも多大な御協力をいただいた。記して関係各位に感謝の意を表す。

(参考文献)

気象庁 (2013) : 潮位表解説, <http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/explanation.html> (2013 年 3 月 21 日閲覧)



図：観測孔位置図（沖縄県多良間島）
 Location of study groundwater holes in Tarama Island, Okinawa Prefecture