

地下水位観測データから主要潮汐成分を分離する簡易調和解析法の適用性向上 Improvement of applicability of a simple harmonic-analysis technique to extract major tidal components from groundwater observation time series

○白旗克志, 吉本周平, 土原健雄, 石田 聡

○SHIRAHATA Katsushi, YOSHIMOTO Shuhei, TSUCHIHARA Takeo, ISHIDA Satoshi

1. はじめに

地下水資源の開発あるいは保全の計画を検討する際には、帯水層の水理性状の把握が必要不可欠である。白旗ら(2014)は、農業用地下水開発が期待される島嶼において、潮汐応答する地下水位観測データから帯水層の水理定数を推定するための簡易な手法を開発した。この手法が簡易であったのは、水位観測データから特定周期の潮汐成分を分離・抽出する手法(調和解析手法)として、単純な三角関数、乗算と平均の計算による簡易な方法を用いたためであった。この調和解析手法は、一般的な自記水位計による長期間のデジタルデータを用い、表計算ソフト上で計算式を入力することで直接に主要潮汐成分の振幅と位相を算出できるものであったが、白旗ら(2014)は8856時間(369日間)の観測データに対する適用事例のみを示した。

この手法の適用が特に期待される離島地域では、遠隔・過酷な条件により長期間の一貫した水位観測が難しい場合もあることから、より短い期間の観測データでも用いることができれば適用可能な対象が大幅に拡大する。本発表では、白旗ら(2014)の簡易な調和解析手法を、同じ原理に基づきながらより短い期間の観測データでも適用できるよう検討した結果を、検討過程で明らかになった調和解析出力の誤差の要因とあわせて報告する。

2. 検討方法

本検討では、①白旗ら(2014)と同様に主要潮汐成分の周期を考慮して適用可能なデータ長の候補を選定し、②検証用の、振幅と初期位相が既知の多数潮汐成分からなる時系列データを人工的に合成し、③合成した時系列データの調和解析による出力(振幅・初期位相)をデータ合成時に与えたものと比較して誤差を確認し手法の適用性を検証した。

手法の適用が可能な時系列データ長は、原理であるフーリエ級数展開の式の形から、分離したい潮汐成分の周期の倍数に出来るだけ近くなるように選定する必要がある。潮汐は天体の運動に起因する色々な周期の正弦振動成分からなり、卓越して生じやすい周期は潮汐学あるいは海洋学の分野で既に特定されている。本手法で対象とする、周期が半日から一日前後の主要成分を起潮力の大きいものから挙げると、 M_2 (12.42h), K_1 (23.93h), S_2 (12.00h), O_1 (25.82h), P_1 (24.07h), N_2 (12.66h), K_2 (11.97h), Q_1 (26.87h) である(括弧内は概ねの周期)。白旗

表1 適用可能なデータ長と潮汐成分の候補
Tentative selections of applicable time-series length and extractable tidal components

Time-series length (hour / day)	Constituents to be extracted (n, d)	
708 h / 29.5 d	M_2	(57, 0.0036%)
	S_2^*	(59, 0.0000%)
3279 h / ca. 136.6 d	M_2	(264, 0.0012%)
	K_1^*	(137, 0.0007%)
	O_1	(127, 0.0017%)
4380 h / 182.5 d	K_1^{**}	(183, 0.0002%)
	S_2^{**}	(365, 0.0000%)
	P_1^{**}	(182, 0.0002%)
8856 h / 369 d	M_2	(713, 0.0013%)
	K_1	(370, 0.0028%)
	S_2	(738, 0.0000%)
	O_1	(343, 0.0004%)
	P_1	(368, 0.0028%)

* Eventually revealed to have a large error and to be useless.

** Eventually recommended to extract after M_2 and O_1 components are removed.

農研機構 農村工学研究所 National Institute for Rural Engineering

キーワード: 地下水位, 潮汐成分, 調和解析, 人工時系列データ

ら (2014) は、上記のうちはじめの 4 成分の周期の倍数にごく近い 8856 時間を選定して用いた。本検討では、8856 時間までの時間長を 1 時間ごとに調べた結果、8856 時間も含めて表 1 に示した 4 つの時間長を選定し、各時間長の整数分の 1 にごく近い周期をもつ成分を分離される成分の候補とした。表中の 'n' はその整数、また 'd' は時間長をその整数で割って得られる「潮汐成分の周期の近似値」の、真の値からの乖離率である。ここでは乖離率が 0.005% 以下の潮汐成分を分離可能な候補とした。

検証に用いる人工時系列データの構成成分は、気象庁の潮汐予測に関するインターネットサイトの「分潮一覧表 石垣」に挙げられた 60 成分を用い、各成分の振幅も同じ表の振幅を用いた。また初期位相は、周期が長いほうから並べられた 60 成分に対して、素数をひとつおきに取り出して 0.1 倍した 0.3, 0.7, 1.3, ..., 65.9 (ラジアン) を順に与えた。図 1 に、合成した時系列データ (0, 1, ..., 8855 の値をもつ時刻 t と対応する同じ長さの水位 f(t) の数列の組) の一部分のグラフを示す。

手法適用可能性の判断は、許容される誤差範囲として、白旗ら (2014) の帯水層定数推定手法への応用を想定した時に結果の帯水層定数に概ね 1 割の誤差を与えることになる、振幅について 8%、位相について 0.08 ラジアン の誤差を目安に行った。

3. 結果と考察

図 2 に、表 1 の 13 成分についての出力誤差を示す。横軸は潮汐成分近似周期の乖離率である。選定された周期乖離率 0.004% 未満の範囲では、誤差と周期乖離率との関係性は認められない。別途、元の 60 成分の時系列データから色々な 1 潮汐成分のみ取り除いた時系列データを作成して調和解析し、その出力と対比した結果から、708 時間長の S_2 、3279 時間長の K_1 などの特に大きな誤差の原因は、解析過程で生じる他の主要成分による一種の干渉 (上記 S_2 、 K_1 成分の場合はそれぞれ K_2 、 P_1 成分による干渉) であることが判明した。

結果として 13 成分のうち誤差が特に大きな 2 成分を除き、708 時間長の M_2 、3279 時間長の M_2 及び O_1 、4380 時間長の 3 成分、8856 時間長の 5 成分についての誤差は概ね許容範囲内であり、本検討の簡易調和解析法はこれら時間長に適用してこれら成分を分離可能と判断された。また 4380 時間長の解析は、3279 時間長の解析により得られる 2 成分 (M_2 、 O_1) をあらかじめ除去してから行うことにより、干渉を減らしてより誤差の少ない結果が得られると考えられた。

本研究の一部は、農林水産省委託プロジェクト研究「極端現象の増加に係る農業水資源、土地資源及び森林の脆弱性の影響評価」(課題番号 91150) 及び JSPS 科研費 26660194 の支援を受けて実施した。

参考文献：1) 白旗克志・石田 聡・吉本周平・土原健雄 (2014)：農村工学研究所技報, 215, 141-154；2) 気象庁 <http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/harms60.php?stn=IS&year=2015&tyear=2015> (2015/3/8 閲覧)

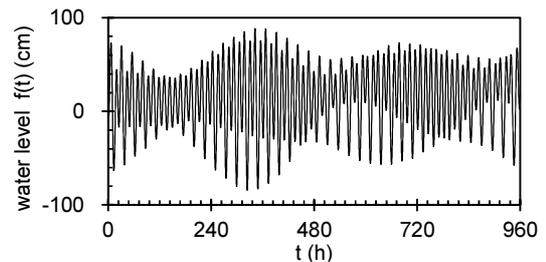


図 1 手法検証に用いた人工時系列データ (部分)
Part of artificial time series for examination

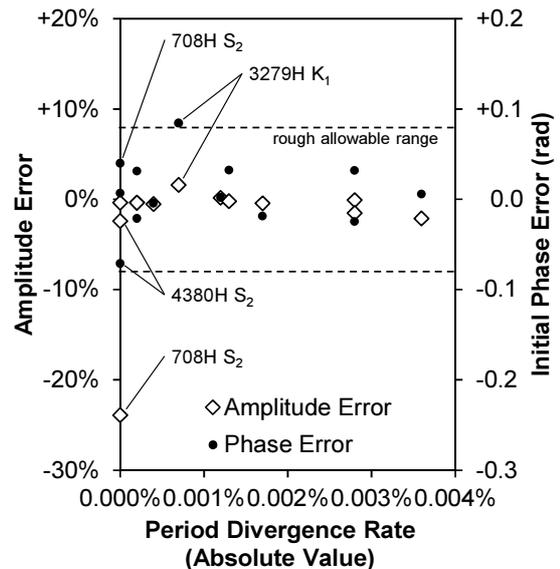


図 2 簡易調和解析出力 (振幅・初期位相) の誤差
Output errors of simple harmonic analysis