

— コメント 回答 —

有明海の潮汐に及ぼす諫早堤防の影響について  
— コメントへの回答と回答者からのコメント —\*

安田 秀一†

1. 潮汐の増減を議論することの意義

有明海や瀬戸内海などの国内の代表的な閉鎖性内湾は、一般に潮汐が大きく、それに伴って潮流が卓越していることが多い。瀬戸内海では40年以上も前から海洋環境に関する研究が取り組まれ、速水・宇野木(1970)は、年平均的な塩分収支にもとに一次元拡散係数は $10^7 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ 程度であると報告し、多くの沿岸海洋環境の研究者に注目された。また、村上ら(1978)は塩分収支に季節変動を取り入れた結果、その半分の拡散係数 $5 \times 10^6 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ を導き出している。しかし、潮流だけを取り入れた瀬戸内海の数理モデルの中では、 $10^6 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ 弱の一次元拡散係数が算出され(山崎・安田, 1984)、これに基づいて、安田(2006a)は、瀬戸内海の潮流による拡散係数(縦方向分散係数)は理論的に $10^6 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ 程度にしかならないことを明らかにした。このことは、潮流の卓越する瀬戸内海においても、海水交換や環境容量に関わる一次元拡散係数は、潮流以外の寄与が大きい可能性を示唆している。

最近提示された有明海における物質輸送量の算出(万田ら, 2006)においては、潮流は振動成分を考慮しているにもかかわらず、吹送流や密度流は定常流とする取り扱いをしているために、海洋環境を支配しているのは潮汐・潮流であるような結論が導かれるに至っている。吹送流と密度流に自転効果を取り入れているにもかかわらず慣性周期変動を考慮されず、さらに、潮流には潮汐振動を取り入れながら、風や密度の時間変動性を考慮しなかった根拠を明示すべきである。例えば、

風について言及すれば、万田ら(2006)に示されている風の定常値に比べて、常に観測される変動成分の方が遙かに大きいのではないかと、また、突発的な洪水時の流入河川水が引き起こす輸送現象は、定常的な密度流に比べて、桁外れに規模が大きいのではないかなど、自然現象に思いを馳せたときの印象からの疑問を抱かずにはいられない。著者は、物質分散に及ぼす吹送流の非定常性の重要性については、Yasuda(2005)だけではなく、国内でも2005年度日本海洋学会春季大会で報告している。沿岸海洋環境に関わる潮汐の貢献度を明らかにするには、吹送流や密度流に関しても変動性を考慮に入れて解析する必要があると考える。

このようなことから、瀬戸内海で示されたような分散係数のギャップは、有明海においても存在するものと考えられる。したがって、この度のコメントにあるような潮汐の微小な変化(仮にあったとしても)が、海域の環境形成に直接的に大きく関わっているとは思われないし、このような論争が海域の環境問題に有意義な提言ができるとは思えない。著者(回答者)は、諫早堤防の有明海への影響は潮汐ではなく、流れの構造などの他に要因があるのではないかと常々考えている。しかし、海水流動の起動力としては、潮汐は持続的で最も安定した外力であることと、この度の質問に対する回答も研究者の主要な仕事の一つと考え、諫早湾堤防の潮汐への影響について新たな研究(解析)結果も加え、コメント回答に含めてここに報告する。

2. 諫早堤防締切前後の潮位の調和解析結果

まず、質問者は定量的な議論に定性的な議論を加えたことを問題にしているが、著者は、定性的か定量的か

\* 2007年2月7日受領; 2007年2月13日受理  
著作権: 日本海洋学会, 2007

† (独) 水産大学校 〒759-6595 下関市永田本町5-7-1  
著者 e-mail address: yasuda@fish-u.ac.jp

ということについては、解を出すために簡略化や多くの仮定を前提にする解析解や、連続量を差分化する数値モデルは定性的であると考えている。さらに、JODC(日本海洋データセンター)で管理されている信頼度の高い潮汐データを矛盾のない手法で解析して得た結果は、定量的だと考えている。質問者のコメントの中にも述べているように、灘岡・花田(2002)と塚本・柳(2002)の結果が2.5倍から5倍も異なっていることは、数値モデルの結果は定量的ではなく、定性的であることではないだろうか。

JODCの潮汐データの中にも欠測が所々に含まれている。著者は解析に際して、欠測が少ない場合は、欠測を適当な値で補完してまず調和解析している。その解析結果から主要な潮汐成分を合成して、その値を欠測値に当てはめた後、再度調和解析を施して調和常数を求めている。可能な限り定量的に検討したかったために、欠測が多い場合は、安田(2006b)にもあるように解析結果には記入しなかった。この度の回答のために新たに解析したデータの中には、大浦で1996年から1997年の間に8個の欠測があったが、適当に補完した場合と合成値を入れて欠測値を補った場合の調和解析結果において、1/1000 cmの桁のところではか差は認められなかった。ここで導き出した調和解析結果は、他の者が解析しても異なる結果になるとは思われないので、定量的な値であると考えている。

有明海の外部として、長崎を選んだことを定性的といわれているようにも思えるが、JODCの測点の中で、長崎は有明海の外部にあり外部の中で最も有明海に近いことから、安田(2006b)では有明海外部の代表点として長崎の検潮所のデータを適用した。また、この論文の中では「本報では大浦と長崎の潮汐振幅の比率を増幅率と定義する」と明記しているので、そのようにご理解いただきたいと考えている。単なる比率という用語でも構わなかったが、大浦の方が大きくなっているので増幅率という用語を用いた。長崎を外部の代表点として選んだことによって、増幅率の変動などは合理的で、結果的には「有明海を増幅率」として扱っても大きな問題はなかったと考えているが、実際の地形が複雑であることから、長崎は定性的に選定できる外部代表点と見なせるかもしれない。

コメントによると、諫早堤防の締切は1997年4月とされている。ここに、潮汐振幅が諫早湾堤防によって影響を受けたか否かを調べるために、締切前(1996年4月1日から369日間)と締切後(1997年5月1日から369日間)の有明海の外部の長崎と湾奥部に近い大浦の潮位の調和解析を行なった。この調和解析によって得られた主要4分潮の振幅と平均潮位をTable 1に示す。解析に際しては、f値の補正は行なっていない。ここでも有明海湾奥部の代表点として大浦を、外部の代表点として長崎を選んだ。Table 1の中に示す差は、締切後の増加を正としている。大浦においては、すべての潮汐成分が僅かながら増加の傾向にあり、長崎との比率で比べると、 $M_2$ 潮だけが僅かに減少している。これらの変化は、安田(2006b)で示された傾向と一致している。なお、使用したJODCの潮位データはcmの単位を用いて整数で提供されているが、Table 1の調和解析結果は、1/100 cmの桁まで示した。解析するデータ数が多くなるほど解析結果の精度は上がることから、堤防締切前後の比較が目的ということもあって、元のデータが整数であるにもかかわらず、この桁まで敢えて記している。その根拠に関しては、調和解析には8,852個(約 $10^4$ 個)の整数値の潮位データを用いており、実際の潮位の1/10,000 cmの桁のところに変化があった場合に、確率的に1個だけ四捨五入の影響で整数値の潮位にも変化が現れるのではないかと、また、これは確率的事実であるから、その平方根を考慮して、解析結果の1/100 cmの桁に変化が現れる可能性があることに基づいている。安田(2006b)において、振幅の小さい複合潮でもこの桁まで有意な値で現れていることも根拠になっている。この詳細については、さらに理論的な検討を重ねる予定である。また、海面潮位に及ぼす要因は、潮汐以外に外部の条件や内部の海水温(海水密度)や河川水の流入量、大気圧の変動などが考えられ、堤防の影響の可否を厳密に議論するには、解析上の誤差の精度とともに、これらの要因の検討も欠かせない。Table 1の小さな変化が諫早堤防締切の影響か否かを議論するには無理があり、現段階では解析上の誤差やその他の要因を上まわる影響は潮汐には見いだせない。

諫早堤防の影響の検討において、堤防の締切が有明

**Table 1.** Tidal amplitudes (cm) at Oura and Nagasaki before and after closing the Isahaya dike.

		Oura	Nagasaki	Ratio
M <sub>2</sub>	before	157.63	85.11	1.852
	after	157.91	85.53	1.846
	difference	+0.28	+0.43	-0.006
S <sub>2</sub>	before	65.50	35.80	1.830
	after	66.03	36.01	1.834
	difference	+0.53	+0.21	+0.004
K <sub>1</sub>	before	25.42	22.70	1.120
	after	25.56	22.76	1.123
	difference	+0.14	+0.06	+0.003
O <sub>1</sub>	before	17.79	16.13	1.103
	after	17.82	16.13	1.105
	difference	+0.03	0.00	+0.002
Mean	before	392.34	289.73	
	after	395.45	290.80	
	difference	+3.11	+1.07	

海の表面積を減少させたために固有振動周期を短くし、結果的に有明海内部での半日周期潮汐の増幅率を減少させたのではないかというコメントも出されているが、有明海のように比較的細長い内湾においては、固有振動周期は、内湾部の表面積ではなく、湾の長さが支配すると考えられる。有明海の有効長に関わる湾奥部の点は長崎県の諫早湾の方ではなく佐賀県の有明海北部にあることから、諫早堤防によって有明海の有効長は変化しなかったということを、この結果は示していると考えられる。

平均潮位に関しては、大浦と長崎の両地点で増加をしている。このことは、安田 (2006b) の研究結果で示した、1996年から1999年までの増加傾向をよく反映している。

### 3. 質問に対する回答

#### 質問 (1) について

有明海のように、内部に振動の節もなく湾奥部での増幅率が大きい湾においては、湾口付近の潮汐振幅は場所によって著しく変化する。したがって、有明海の外側を代表する検潮所としては、湾口からある程度離れる必要があると考える。質問者がコメントの中で取り上げている口之津は、小さな半島を挟んで有明海の

内部側にあり、沖合には強い潮流が流れ、しかも湾口近くであるために、潮汐振幅の縦方向の変化が大きくなっている。従って、湾内の増幅率を見積もる上で口之津を基準にすることが適切であるとは思われない。有明海の湾口部周辺は地形が複雑で、実際に湾口部を特定することは困難と考えるが、有明海の内部と外部の比較において、外部を代表する検潮所を敢えて選ぶとすれば、口之津よりは長崎の方が適切であると考えられる。本文の中では、「ここでは大浦と長崎の振幅の比を増幅率とする」として、用語を限定しているが、上記のような理由や単純なモデル湾の解析から、私の本音は「物理的に意味のある有明海の潮汐の増幅率」としてもよいのではないかと考えている。逆に私の方からは、このように問題点を含む口之津をなぜ湾口部の代表点とされたのかを伺いたい。因みに湾奥においては、潮汐波の反射によって場所による潮汐振幅の変化は著しく小さくなるので、大浦は湾奥部の潮汐を代表していると考えられる。

また、質問の中に「大浦と長崎の振幅を比較して、内部の干拓事業の影響を見る…」とあるが、このことは私の論文の主目的ではないことを改めて述べておく。

#### 質問 (2) について

定量的な結果として、締切前後のそれぞれの369日間の調和解析結果(振幅のみ)をTable 1に示した。塚本・柳氏への返答の中でも、これに関するコメントをコメントされているので是非確認をしていただきたい。それにしても奇異に感じるのは、塚本・柳氏への返答は余りにも定性的であるにもかかわらず、私の調和解析結果を定性的と言われる根拠である。私の意見は、この定量的な解析結果からも諫早堤防の潮汐への影響は有意なものとしては認められない、ということ再度述べておく。

最初にも述べたことではあるが、有明海の海水交流や物質輸送に関わるものは、潮流以外にも大きな要因があると考えられる。仮に何らかの原因で潮汐が多少変化したとしても、それが物質輸送に支配的な影響を与えるとは思われない。しかし、地形が複雑であることは、様々な渦を生み出しながら流れの強いシアを形成することになるのではないかと推測できる。浅瀬

や地形の出入りを護岸工事でなめらかにしたり、直線的な堤防で入江を仕切るとは、流れの変動性を抑制するとともに海水の混合輸送過程を弱め、さらにはヘドロの堆積を促進し、生態系にも致命的な影響を与えることが懸念される。個人的な見解ではあるが、諫早堤防の問題を議論するときには、堤防が潮汐を弱めたかどうかという切り口よりは、海水の流動構造(乱れや水平・鉛直分布)やそれに関わる拡散・分散現象を変えたかどうかを論点にすべきではないだろうか。潮汐は、流れを平均化して複雑さを取り除いた形で現れる現象であることは周知の通りである。

最後に、潮汐のわずかな変動が海洋環境に直接影響を与えるか否かに関したことで付け加えるが、 $f$  値による 18.6 年周期の潮汐振幅の変動が有明海や瀬戸内海的环境に影響を与えたという定量的な報告を、著者は未だに聞いたことがない。現在でも有明海的环境研究には膨大な予算が投じられて、優れた研究者による調査・研究が継続されているが、近いうちには、予算に見合った画期的な成果と共に、堤防や埋立の影響が定量的に明らかになるものと思われる。有明海的环境を気にかける漁業者や海事従事者は、予算をほとんど伴わない細々とした研究の内容を問い質すよりも、膨大な予算の行方を監視すべきではないかと思う。

## References

- 速水 頌一郎, 宇野木 早苗 (1970): 瀬戸内海における海水交流と物質の拡散. 第 17 回海岸工学講演会論文集, 385-393.
- 万田 敦昌, 兼原 壽生, 青島 隆, 筒井 博信, 木下 宰, 中田 英昭, 柳 哲雄 (2006): 有明海中央部における物質輸送過程の季節変動. 海の研究, **15**, 465-477.
- 村上 眞裕美, 大西 行雄, 原島 省, 國司 秀明 (1978): 瀬戸内海における水温, 塩分分布の数値シミュレーション. 沿岸海洋研究ノート, **15**, 130-137.
- 灘岡 和夫, 花田 岳 (2002): 有明海における潮汐振幅減少の要因の解明と諫早堤防締め切りの影響. 海岸工学論文集, **49**, 401-405.
- 塚本 秀史, 柳 哲雄 (2002): 有明海の潮汐・潮流. 海と空, **78**, 31-38.
- 安田 秀一 (2006a): Tidal Basin における分散係数について — 瀬戸内海を例として; 振動流による物質分散の重要性 —. 水産大学校研究報告, **55**, 23-33.
- 安田 秀一 (2006b): 内湾における副振動の発生と有明海の潮汐増幅について — 複合潮の振舞いと固有振動との共振 —. 海の研究, **15**, 319-334.
- Yasuda H. (2005): An analysis on dispersion of suspended particles due to the transient drift current: an example of mixing dilution processes of harmful algal blooming (red tide). *Proc. Int. Conf. Environ. Fluid Mech.* '05, 54-60.
- 山崎 宗広, 安田 秀一 (1984): 瀬戸内海中央部の物質輸送に関する実験的研究. 中国工業技術試験所報告, **22**, 33-46.