

大阪湾における海況長期変動の数値的研究

～10年規模変動の検証と将来予測～

磯 辺 篤 彦

九州大学 応用力学研究所 教授

[研究目的]

全球の長期気候変動から、局所的な変動を推し量ることは難しい。海洋においても、外洋の水温変動が、そのまま沿岸水温に反映されるとは限らない。瀬戸内海を例にとりて考えよう。北太平洋における水温変動の瀬戸内海への波及は、黒潮前線を横断する海水輸送(=たとえば前線波動(急潮や底入潮))の消長に、大きく左右されるだろう。そして、前線波動の消長と、全球・海盆規模の気候変動との関連は未だ明らかではない。まず本研究では、既存データセットを利用して、過去数十年における瀬戸内海の水温・塩分変動を抽出し、北太平洋における海況変動との関連について調べた。本報告では、特に大阪湾の海況に注目する。

また、外洋変動に対する応答を精査できる高解像度の数値モデルの開発を進めた。海洋観測技術に見られる近年の飛躍的な進歩(特に衛星観測やアルゴフロート)により、外洋域では、観測データを同化した高精度の数値モデルを用いて海況を再現する海洋再解析データが提供されるようになった。一方で、海運や漁業に利用の多い瀬戸内海のような浅海域においては、総じて海洋観測が難しく、沿岸海洋に特有の物理過程を十分に捉えることができない。ここでは、外洋の同化プロダクトを境界条件にした入れ子モデルの利用が望ましい。そこで本研究では、外洋側の境界条件に高解像度(1/12°×1/12°)の海洋再解析データ(JCOPE2, Miyazawa et al., 2009)を与えた瀬戸内海における海洋循環モデリングを行なった。

[研究方法]

瀬戸内海全域における水温と塩分データは、MIRC Ocean Dataset 2005(<http://www.mirc.jha.or.jp/products/MODS2005/>)にアーカイブされている1963～1993年のものを用いた。また、同期間における北西太平洋/日本南岸における水温データを、JODCのJ-DOSS(<http://www.jodc.go.jp>)を通して取得した。さらに、北太平洋の海況変動を瀬戸内海のそれと比較するべく、風応力データには、船舶大型化による疑似トレンドが補正されているWASwind(Tokinaga & Xie, 2011)を、さらに水塊配置を反映する海面高度データには、沿岸潮位データを利用して過去60年間の全球海面高度分布を推算したReconstructing Sea Level(Hamlington et al, 2011)を用いた。

数値モデリングに当たって使用した海洋循環モデルは、Finite Volume Coastal Ocean Model(FVCOM, Chen et al., 2003)である。FVCOMは、水平方向に大きさ・形ともに不均一な三角形格子で構成されるので、複雑な海岸地形をもつ瀬戸内海に適している。格子サイズは開境界部ではほぼJCOPE2と同じ10kmとし、瀬戸内海内部に向かって徐々に細かくし、狭隘な島嶼間では500mまで細分化した。鉛直方向は20σ層を設定した。モデルの初期条件および境界条件にはJCOPE2再解析データを使用し、海面風応力にはGPVデータを用いた。また、海洋潮汐モデルNAO.99Jb(Matsumoto et al., 2000)で計算された潮汐のうち、四大分潮(M₂, S₂, K₁, O₁)を開境界に与えることによって、瀬戸内海の潮汐を計算した。現在までの計算期間は、2012年2月1日から2012年9月30日の243日間である。

[結果と考察]

水温や塩分における 31 年間の変化を、steric height のトレンドをみることで評価した。すなわち、海底から海面までの比容積分値の回帰直線の傾きである(図 1)。冬季(12-2 月)には目立ったトレンドをみることはできないが、夏季(6-8 月)には大阪湾を含む瀬戸内海全域で負のトレンドが顕著であって、すなわち夏季の大阪湾の海水は当該期間において重くなり、水位が低下していたことがわかる。過去 100 年間での北西太平洋における高温化(水位上昇; http://www.data.kishou.go.jp/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html)を考えれば、瀬戸内海の局所的な負のトレンドは興味深い。夏季表層と底層の水温と塩分のトレンド(図は未掲載)をみると、この海況変動は、海底の低温化・高塩化によることが示唆される。このことは、瀬戸内海の家況変化が、海面を通しての浮力フラックスの変動によるものではなく、外洋中層起源の海水流入によることを意味する。講演では、解析期間中における黒潮流量の増加と、これに伴う黒潮内側域の低温・高塩化(黒潮前線の鮮鋭化)が、瀬戸内海の家況変動の原因になったこと、黒潮流量の増加は風成循環の結果ではなく、北太平洋における水塊配置の揺らぎによることを示す。

沿岸海洋の平均流や長期変動を議論する場合、モデリングの結果を潮汐シグナルが卓越する生の水位データや、季節変動が卓越する生の水温データで比較することは誤りである。ここでは、モデル結果と実際の海との整合性を確かめるため、潮位だけではなく、海面流速についても検証を行なった。験潮所の観測から得られた潮汐調和定数(海上保安庁, 1992)を用いて潮汐の再現性を検証したところ、全ての分潮において 0.8~0.9 程度の高い相関が得られた。また、瀬戸内海の水溫構造が詳細に表現されており、さらに、黒潮前線波動による沿岸域での水温上昇をよく捉えている。

海面流速(図 2 に計算領域と、例としてスナップショット)の検証については、沿岸域に適合するように開発した小型 ARGOS 衛星追尾型漂流ブイの観測データを使用した。我々は、モデルの流速データ検証のため、2012 年 7 月から 2014 年 1 月現在まで、現有 21 基(うち 6 基は既に紛失)のブイを順次投入して海面流速データの収集を続けている。例えば、2012 年 7 月 27 日に四国西岸沖から放流したブイは、8 月 19 日に西に位置する野島に漂着した。ブイ放流後の初期には四国と興居島の間を南北に往復していた。一方のモデル流速も四国・興居島間での南北に振動する流向を示し、その後全体的に西へ向かう流速を示唆した。ただ、流速の大きさに関しては、期間中の平均流速が、観測では 23.1 cm/s であったのに対し、モデル流速は 16.8 cm/s とやや過小評価という結果になった。

[結論]

講演では、北太平洋の水塊配置の揺らぎは、特に東西方向の縞状平均流構造の揺らぎに起因することを述べる。このような揺らぎは、地衡流乱流の Rhines 効果によるものであって、カオス的な振る舞いをすると考えられる。すなわち、大阪湾を含む瀬戸内海全域に流入する黒潮系水の消長は、10 年規模変動においてはカオス的な振る舞いをするものであり、予測することは困難との結論に至った。そして、この 10 年規模変動は、気候変動に起因する水位上昇や水温上昇に匹敵するシグナルである。今後求められることは、本研究で開発を進めたような数値モデリングをさらに高度化し、外洋循環に対する大阪湾の応答を精度よく監視する技術の開発である。

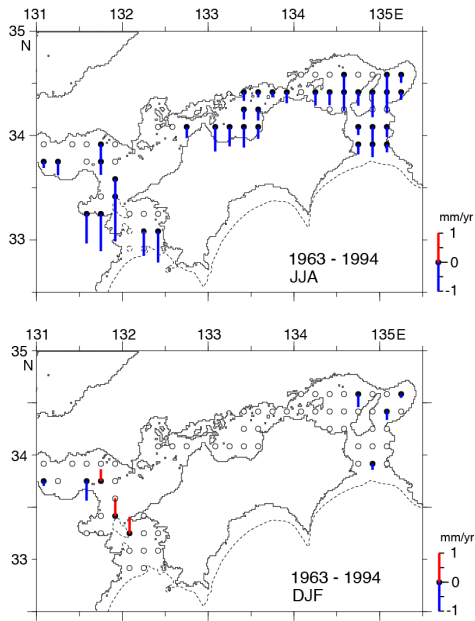


図1 30年間の steric height のトレンド(上:夏季, 下:冬季). 有意なトレンドを示す位置に黒丸を置き, 正(負)のトレンドの大きさを, 黒丸より上(下)向きに伸ばしたバーの長さで表現した.

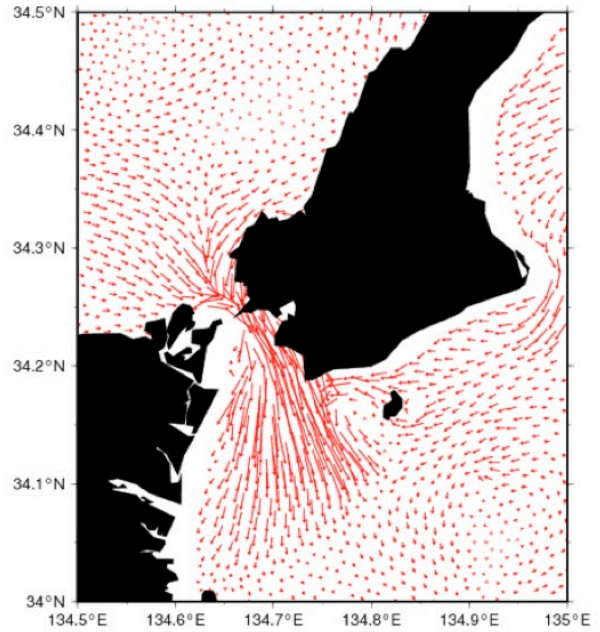
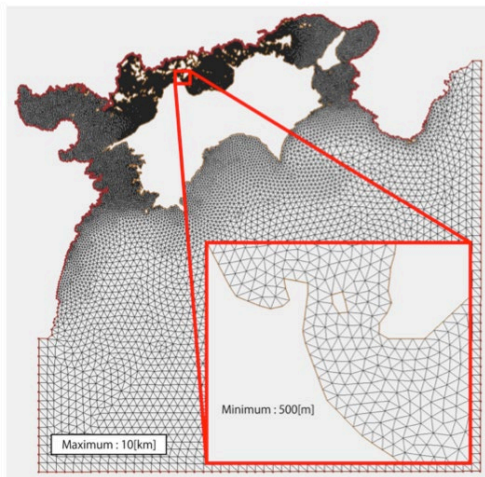


図2 FVCOM の計算範囲(左)と大阪湾周辺の海面流速のスナップショット