

ベトナム・メコン河下流域における水位変動特性

上原 克人^{*1†}

(平成24年7月31日 受理, 平成24年8月17日 掲載決定)

Water level characteristics in the Vietnamese Mekong River

Katsuto UEHARA

[†]E-mail of corresponding author: uehara@riam.kyushu-u.ac.jp

Seasonal to semi-diurnal variability of water levels in the Vietnamese Mekong River was analyzed by using observational data sampled every 15 minutes from August 2010 to March 2012. The temporal pattern of the water level altered greatly among the upper, middle, and lower reaches of the Mekong River in the Mekong River Delta, which was due to differences in the relative contribution of river flows from upstream and tides from the sea. Results from a one-dimensional numerical experiment suggested that enhanced landward propagation of tides observed in the water level during dry seasons is caused mainly by the smaller amount of water discharge. The model result also indicated that the rise of coastal sea-level may increase the tidal range in the river.

Key words: *Mekong River Delta, Vietnam, land-sea interaction, tides, sea level, Southeast Asian monsoon climate*

1. 緒言

メコン河は、中国・チベット高原を端に発し、ミャンマー、ラオス、タイ、カンボジア、ベトナムを経て、南シナ海に注ぐ東南アジア最大の河川で、総延長は4,800km、流域面積は795,000km²に及び¹⁾。海洋側から見た場合、この河は淡水や栄養塩、土砂などの一大供給源としての役割を果たしている。上流におけるダム建設、下流での堤防の建設や川砂採取など、人為的な改変に伴う影響が近年懸念されており²⁾、メコン河から海洋への物質供給過程の把握は南シナ海の海洋環境を理解する上で重要である。

長江などアジアの他の大河川同様、メコン河では海洋の影響が塩水貫入や潮汐遡上の形で河口から数百キロ離れた地点でも見られる。そのため、メコン河を介した海陸間の物質交換を理解するには、陸から海へ向かう一方の流れだけではなく、河川感潮域における双方向の流況特性を理解するが必要であると考えられる。

従来、メコン河における定時観測は1日2回にとどまり、しかもベトナム国内のデータが公表されていなかったため、感潮域における流況特性の解析は困難であった。しかし2008年以降、ベトナムでも15分間隔の自動計測が順次始まり、データの入手性も近年大幅に改善されたことで状況は変わりつつある。本稿では、メコンデルタを形成するメコン河最下流域の水位変動について、観測値並びに数値実験を用いた初歩的な解析を行う。

2. メコン河下流域

Fig. 1 に示された、カンボジアの首都プノンペンから河口へ至る長さ300kmの区間は、メコン河の最下流部に相当する。プノンペン南方にて Bassac 河 (Hau 河) と Mekong 河 (Tieu 河) に分かれ、さらに後者は複数の支流へと分岐する。カンボジア領内では山岳地帯の間を流れ



Fig. 1 Map of the study area. Filled circles denote the location of six hydrographic stations used in this study.

*1 応用力学研究所東アジア海洋大気環境研究センター

ているが、ベトナム領内に入ると両側が開け、高低差が数メートルのメコンデルタを通る。メコンデルタは過去 7 千年間メコン河が運搬した土砂によって形成された平地で、ベトナム領内の Mekong 河より西側ほぼ全域が対応する。デルタの中で、今日のメコン流系に属するのは、Bassac, Mekong 両河川を軸とする帯状の領域のみである。

本稿では、プノンペンから南へ 100km 離れたカンボジア・ベトナム国境周辺をデルタ北部(Fig. 1 の Chau Doc, Tan Chau 付近)、さらに 100km 下った Can Tho, My Thuan 付近をデルタ中部、そして海に面する地域(Dinh An, Vam Kenh)をデルタ河口部と呼び、この3つの地域の水位変動を調べる。

メコン河の流況は、東南アジア・モンスーン気候の影響下で明瞭な季節変化を示す。12月から5月の間の乾季には雨がほとんど降らないが、6月から11月の雨季には、プノンペン北西のトンレサップ湖(メコン河本流とつながっており、天然の調整池の役割を果たしている)から、メコンデルタ中部までの間で河川水位が上昇し、平時の流路の外側で広範な浸水が生じる。特にデルタ北部より上流では水位が数メートル上昇する。洪水の規模は年によって異なり、2000年から2003年にかけては大規模な洪水が発生したが、その後2010年までピーク流量が平年を下回る年が続いた。2011年は2000年に匹敵する大洪水となった。

南シナ海西部では、平均水面が夏に低く、冬に高い季節変動を示し、年間の水位差は0.5mに達する。この季節変化は主としてモンスーン風(夏は南西、冬は北西からの風)の変化によるとされ³⁾、水温の季節変化が主因とされる東シナ海とは異なる様相を呈している。

メコンデルタ周辺では、東西で潮汐の性質が大きく異なっている。東側の南シナ海沿岸では半日周潮が発達し、大潮時の潮差が4mに達する一方、西側のタイ湾沿岸では半日周潮の無潮点が存在することもあり、日周潮が卓越し、潮差も小さい。このような潮汐特性は、タイ湾から南シナ海南部にかけての海洋の形状が関係していると考えられている⁴⁾。

3. 手 法

本稿では、ラオスの首都ビエンチャンにあるメコン河委員会(Mekong River Committee)が配布するベトナム国内のテレメータ計測点6箇所(Fig. 1)における15分間隔の水位データを解析した。計測点は、Bassac, Mekong 両河川それぞれについて、デルタ北部、中部、河口部に1箇所ずつ存在する。解析期間は、全測点にて計測を開始した2010年8月から2012年3月までとした。計測点では、水位の他に降水量と気圧も測定しているが、本解析では気圧補正などの操作は行わなかった。なお、デルタ北部の2測点ではさらに河川流量も公表されているが、水位か

ら換算した推定値であるため、本稿では使用していない。

4. 結 果

メコンデルタの6測点における2010年8月から2012年3月にかけての水位変動をFig. 2に示す。左側の3測点がBassac河沿い、右側の3測点がMekong河沿いに位置し、図の上段、中段、下段に2つずつ示されたグラフはそれぞれデルタ北部、中部、河口部の測点に対応する。水位曲線では雨季・乾季の遷移に伴う季節変動が卓越しているが、それに重なる形で半日周期の潮汐振動が見られる(Fig. 3)。そのため、25時間の移動平均を施した曲線も併せて示している。

元データの記載によれば、水位のゼロ点は平均海面に対応しているが、詳細な定義については不明である。Dinh Anの水位が他と比べて高いのは、低潮時のデータが欠落していることから、潮間帯の上方、または海に注ぐ小河川にて観測している可能性がある。

デルタ北部、中部、河口部の地域別に見た場合、Bassac, Mekong 両河川の水位変動パターンは定性的に良く似ている。デルタ北部(Fig. 2上段)では、雨季最盛期の10月から11月にかけて明瞭な水位のピークが見られ、しかも渇水年であった2010年に比べて2011年のピークがより高い。このピークは、デルタ中部(Fig. 2中段)では北部ほど明瞭ではなくなり、代わりに潮汐振動の振幅の方が大きくなった。デルタ河口部では、潮汐周期の変動が卓越し、季節変動は小さい。

各測点における水位の移動平均曲線(Fig. 4)を比べると、潮汐以外の要因による年間の水位変化量は、デルタ北部で2-4m、中部で1m、河口部で0.5m前後である。北部と中部では、10月~11月頃にピークに達し、ピーク値は2010年より2011年の方が大きいのに対し、河口部ではピークに達する時期が11月~12月とやや遅く、しかもピーク値は2010年の方が大きい。

水位変動から移動平均値を引いて求めたMekong河沿いの3測点における短周期変動成分(Fig. 5)も上流側と下流側で異なった特性を示す。河口部では大潮時の1日の水位差は3mを越えるのに対し、デルタ中部では2m強、北部では1m強へと小さくなっている。

一方、デルタ北部では水位が上昇する雨季、特に8月から10月にかけての時期に1日の水位変化が非常に小さい。雨季における同様の水位変化の減少はデルタ中部でも見られるが、その度合いは北部より弱く、雨季でも1m前後の日変化が見られる。それに対し、デルタ河口部では、短周期変動に伴う水位差が春分と秋分の頃に小さくなっており、天文潮の影響が示唆される一方、水位が高くなる11月頃の水位差が他地域とは逆に大きくなる傾向が見られる。

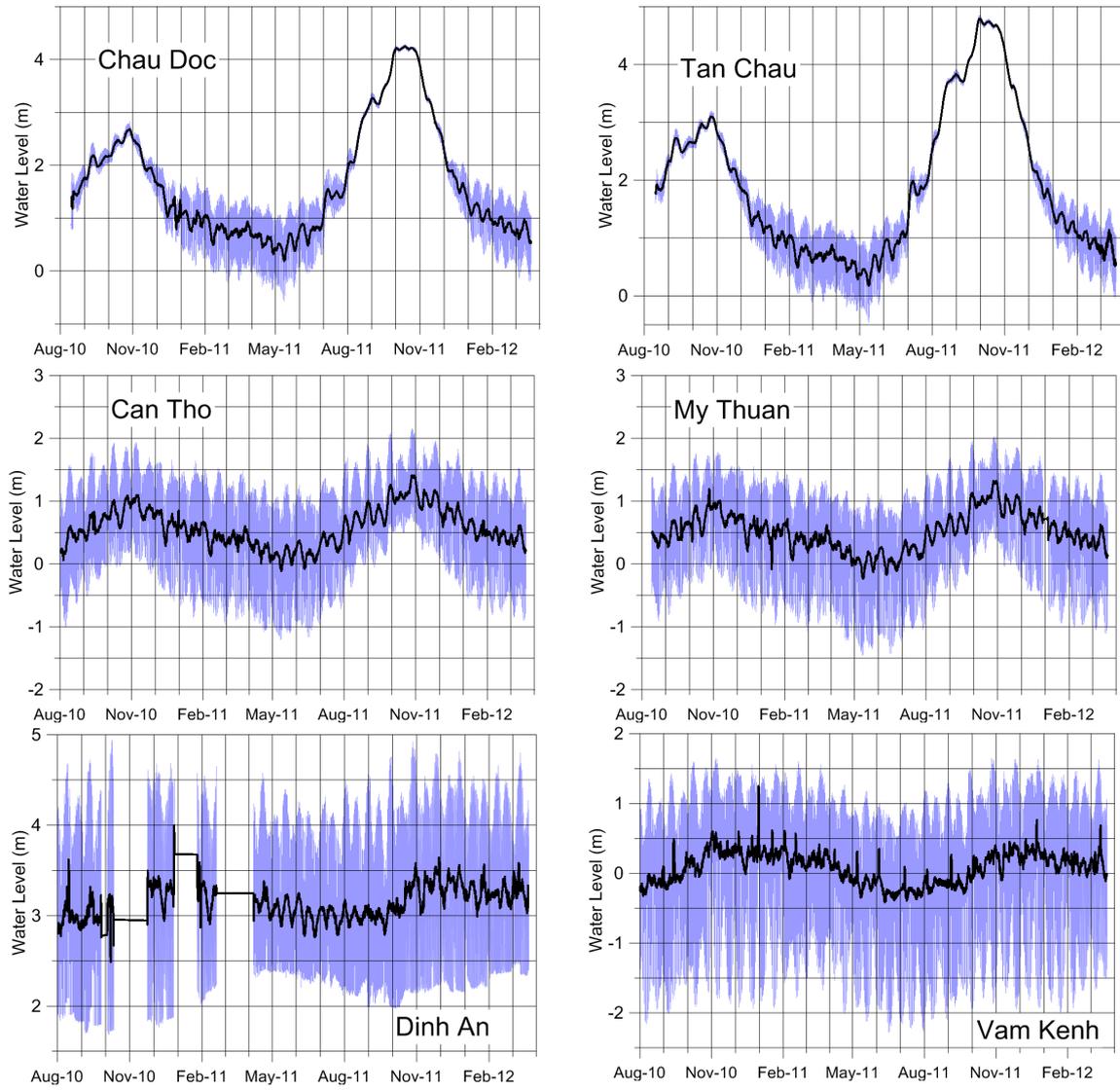


Fig. 2 Temporal change of water levels at six hydrographic stations in the Mekong River Delta, either along the Bassac River (left column) or along the Mekong River (right column). Stations shown in upper, middle, and lower panels are located in the upper, middle, and lower reach of each rivers, respectively. Thick black lines indicate averaged values derived by taking 25-hour running mean of the original data (gray lines) sampled every 15 minutes.

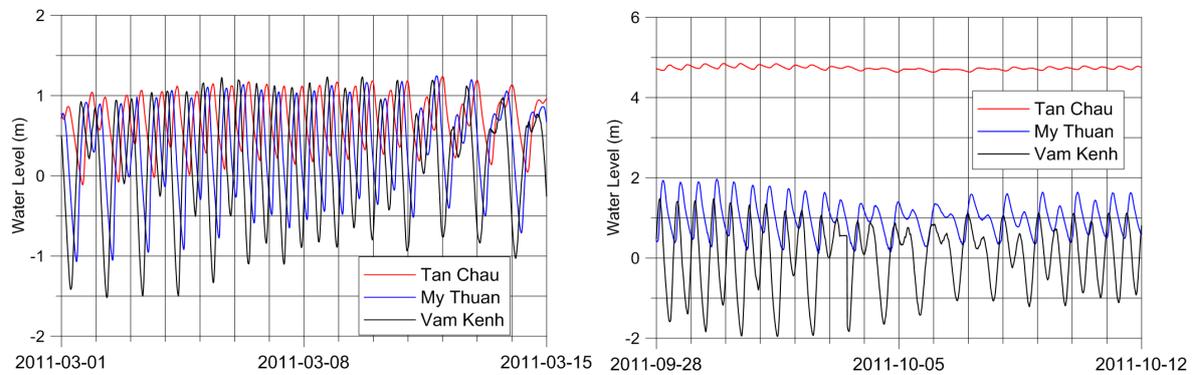


Fig. 3 Close-up view of the water-level curves at three stations along the Mekong River during the dry season (left) and the wet season (right).

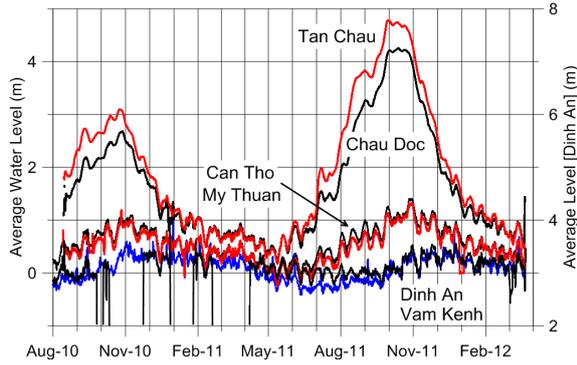


Fig. 4 Summary of the averaged water-level curves shown in Fig. 2. Black lines indicate levels at stations along the Bassac River while red and blue lines are at those along the Mekong River.

水位の季節変動と短周期変動の振幅の比を比べると、デルタ北部では季節変動の方が大きい、中部では同程度、河口部では潮汐変動の方が大きい(Fig. 2)。

Mekong 河沿いの3測点における水位曲線を比較すると、潮汐に伴う水位変動の位相が上流に向かうにつれ、やや遅れている(Fig. 3)。雨季には、1日の最高水位が3測点ではほぼ同じであるのに対し、最低水位は河口に近づくほど低くなっている。乾季には、最低水位だけではなく、最高水位も上流側の方が高い。

以上をまとめると、Bassac 河、Mekong 河の水位変動特性は、主として河口からの潮汐の伝播と上流からの雨季・乾季に伴う水位の季節変化の組み合わせで決まり、メコンデルタ内で河川の流下方向に大きく変化していることが明らかになった。加えて、上流から伝わる水位変化の影響が大きいデルタ北部・中部では、水位の低い雨季には、潮汐に伴う水位の日変化が増大することがわかった。

5. 考 察

前節で示された平均水位と潮汐性水位変動の振幅との関係をより詳細に調べるため、Bassac 河を模した浅水1次元モデルによる検証を行った。

Fig. 1 に赤点線で示された区間を念頭に長さ 190km の直線水路を考え、河口にて振幅 0.8m の M_2 潮汐を与えた場合の河川内での応答を調べた。方程式系は、

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) = -gA \frac{\partial(\eta + \eta_b)}{\partial x} + A_h \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} - \frac{c_D}{AD} |Q|Q & (1) \\ B \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 & (2) \end{cases}$$

である。ここで、 Q は流量、 $A = BD$ は断面積、 B は河川幅(=3km)、 $D = H + \eta$ は水深、 H は平均水深(=8m)、 t は時

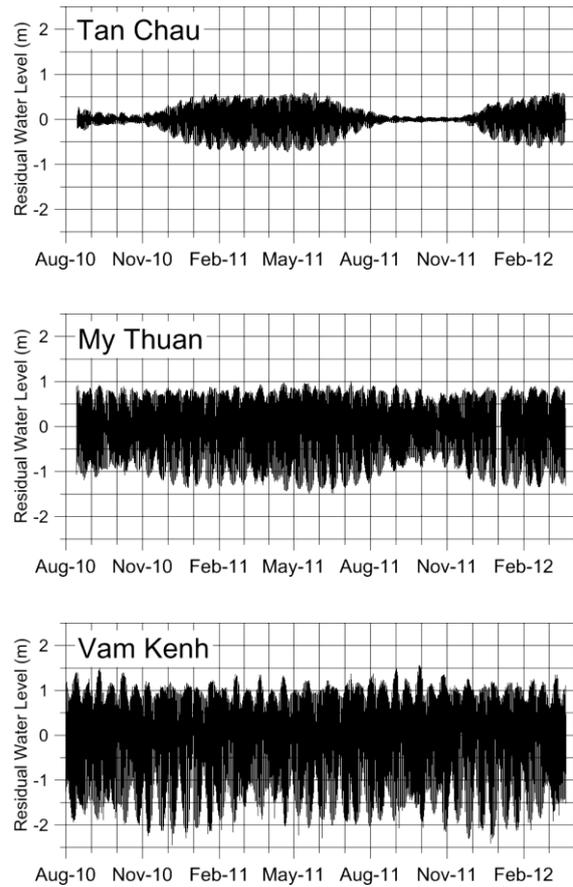


Fig. 5 Residual water levels at three stations along the Mekong River derived by subtracting the average levels from the original ones.

間、 x は下流方向の座標、 g は重力加速度、 η は水位の鉛直変位、 η_b は河床高、 A_h は粘性係数(=100m²/s)、 c_D は底摩擦係数(=0.0025)である。河川幅と水深は、現地地の 1:100,000 地形図から代表的な定数値を決定した。格子間隔は 1km、河床高 η_b は、河口から 10km は一定、それ以降の 180km で直線的に 2m 上がると仮定した。

河口にて振幅 0.8m の M_2 潮汐による水位変動を加えた場合の潮汐遡上の推計結果を Fig. 6 に示す。まず基本実験(control run)として、上流側(図の左方)に年平均流量に匹敵する河川流量(24,000m³/s)を与えた計算を行った後、比較のために、海側の平均海面を 0.5m 上昇させた場合(海面の年変動の最大値に相当)、上流での水位を 2m 上昇させた場合、ならびに上流での河川流量を 2 倍にした場合(洪水時流量に相当)の 3 通りについて追加実験を行った。なお、Fig. 5 の水位記録に現れる潮汐振動には、モデルで取り扱った M_2 潮に加え、 S_2 潮など他の成分も含まれるため、Fig. 6 の数値は Fig. 5 の数値を直接比較することはできない。

一連の数値実験結果から、上流端にて水位上昇、もしくは流量増加が生じた場合には、河川内各地点での

潮汐振幅が減少し、海洋潮汐の河川への遡上が抑制されることが分かる(Fig. 6)。このことは、洪水時にデルタ北部・中部の潮汐振幅が減少するという観測結果と定性的に良く対応している。さらに振幅の減少率の違いから、上流での水位上昇と流量増加では、後者の方が潮汐遡上を抑制する効果が大きく、デルタ北部で顕著に見られる雨季の潮汐振動の減少は、主として流量の増加によって生じることが示唆される。

河口での海面を 0.5m 上昇させた場合、河川内の潮汐振幅がやや増加した。デルタ北部、中部の水位観測データでは、他の要因による水位変動も含まれることもあって、海面水位が最も高くなる 11 月頃の振幅増加をはっきりと検出することができなかった。仮に今回のモデル結果が正しいとすると、モンスーン気候に伴う海面水位の変化だけではなく、地球温暖化に伴う水位上昇によっても河川内の潮汐振動の振幅がやや増大する可能性がある。

6. 結 論

メコン河最下流部における水位変動記録及び 1 次元モデル結果の解析から、以下の点が明らかになった。

- (1) 河川水位の変動特性は、上流から伝わる季節性の水位変化と、河口から伝わる半日(又は 1 日)周期の潮汐振動との組み合わせで決まり、デルタ北部、中部、並びに河口部で大きく異なる。
- (2) 河川から海洋への物質輸送の要となるデルタ中部から河口部にかけての水位変動は、上流から伝わる水位変化よりも、潮汐による変化の方が大きい。
- (3) 乾季には、河口付近での潮汐に伴う水位変動が、河口から 200km 離れたベトナム・カンボジア国境付近でも明瞭に観測されるが、潮汐遡上の範囲は主として河川流量に左右され、流量が小さい場合には

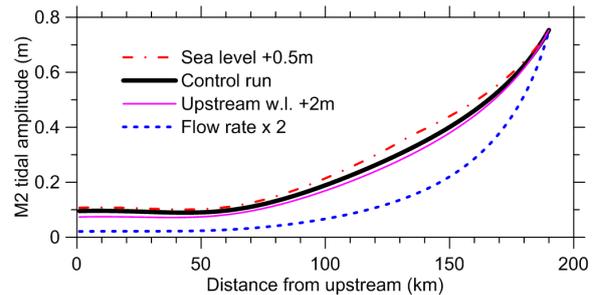


Fig. 6 The amplitude of M_2 tides estimated from a 1-d model defined along a section denoted as a red dotted line in Fig. 1.

より内陸まで潮汐が伝わる。

- (4) 河口付近の海面上昇は、河川内の潮汐の振幅をわずかながら増加させる効果を持つ。

謝 辞

本研究は、環境省公害防止等試験研究費(公害一括計上)「メガデルタ沿岸環境保全のための観測診断技術と管理手法の開発」(代表者 斎藤文紀)の援助を受けた。メコン河水位データに関しては、メコン河委員会(<http://www.mrcmekong.org>)データ・ポータルサイトを通じて提供を受けた。ここに謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) Mekong River Commission (2005). Overview of the Hydrology of the Mekong Basin. Mekong River Commission, Vientiane, Laos, 73pp.
- 2) 斎藤文紀 (2007). 地形, 28(4), 331-347.
- 3) Shaw, P.-T., Chao, S.-Y., Fu, L.-L. (1999). Oceanologica Acta, 22(1), 1-17.
- 4) Yanagi, T., Takao, T. (1998). J. Oceanogr., 54(2), 143-150.