

全球河川氾濫原モデルによる大陸河川の水位変動の予測可能性：アマゾン川流域における潮汐現象を対象としたケース・スタディ

山崎 大^{*1}, 鼎 信次郎², 沖 大幹¹

¹東京大学 生産技術研究所
²東京工業大学 大学院 情報理工学専攻
(*Correspondence to Dai YAMAZAKI: yamadai@rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp)

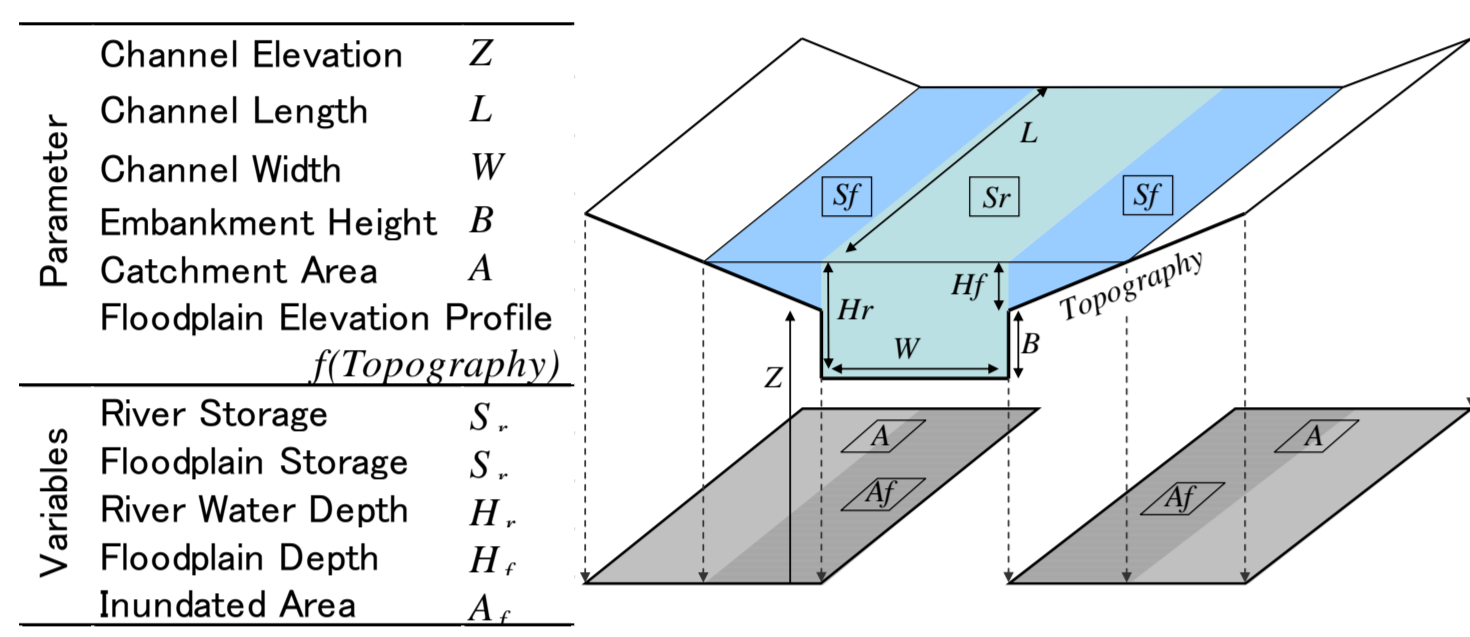


(1) はじめに

河道の水位変動は、河川と氾濫原・湖沼湿地の地表水動態を決定する要素であり、また河川管理計画にも欠かせない情報である。しかし、大陸河川の地表水動態を計算する全球スケールの河川モデルでは、水の流れを支配する詳細な地形情報を表現できないため、既往研究では河川流量の再現に焦点が当てられ、水位変動予測は試みられてこなかった。本研究では、詳細地形をサブグリッド・パラメータとして扱うことで、貯水量と水位の関係を客観的に記述する全球河川氾濫原モデルCaMa-Flood [Yamazaki et al., 2011] を用いて大陸河川の水位変動シミュレーションを行い、種々の観測データと比較することで現状での水位変動の予測可能性を議論する。

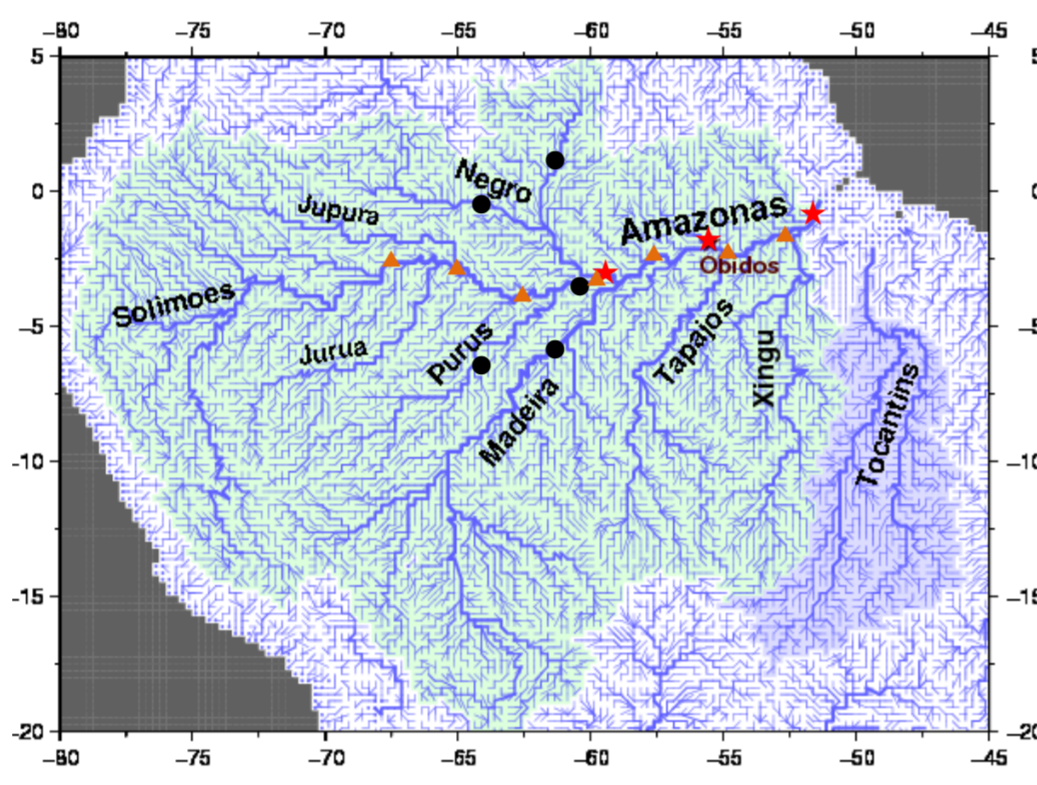
(2) モデル概要

CaMa-Flood [Yamazaki et al., 2011] は分布型河川モデルで、陸面モデルからの流出量を入力とし、各グリッドでの貯水量・流量・水深・浸水面積を計算する。本研究では空間解像度を25kmとして計算を行った。



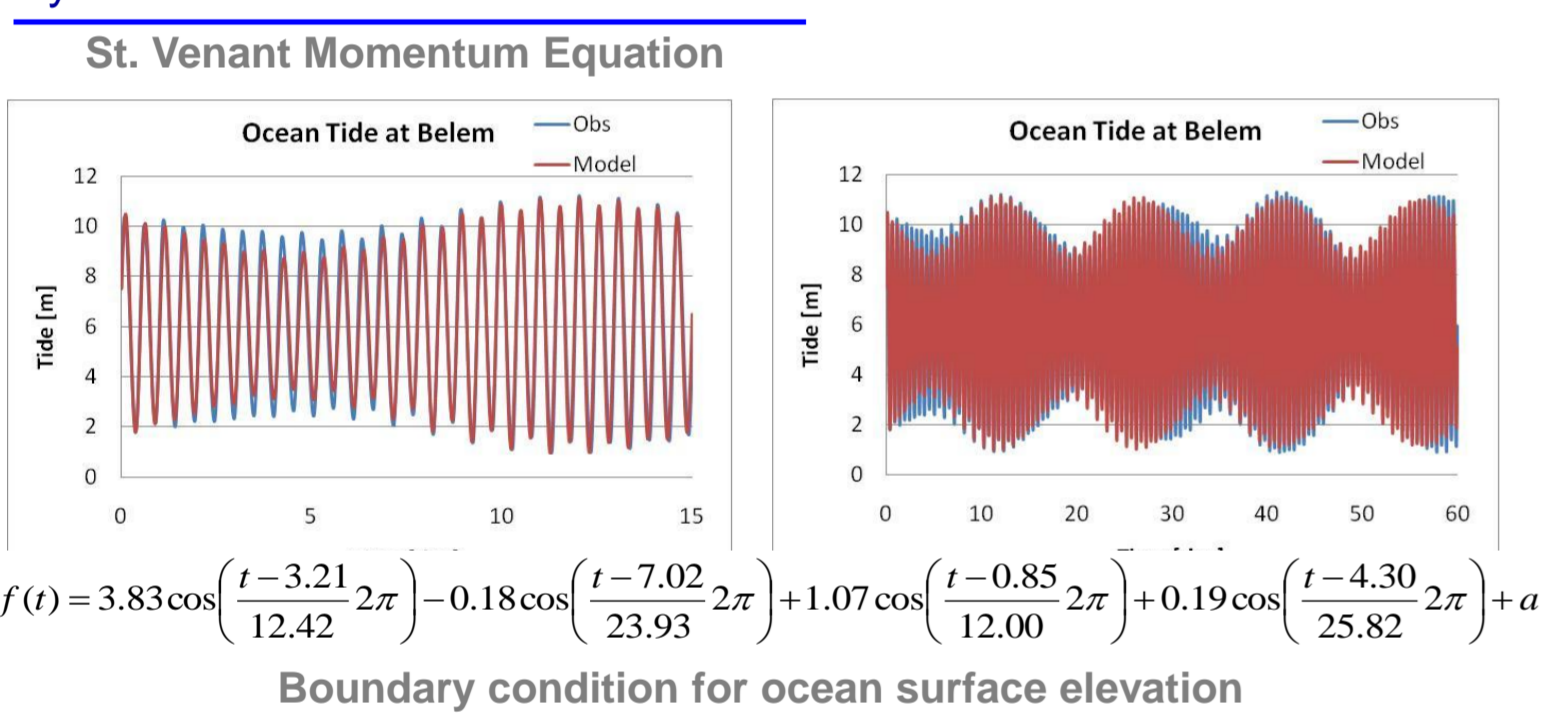
[2-1] 各グリッドには「河道」と「氾濫原」の2つの貯水槽が定義される。計算タイムステップの最初に、2つの貯水槽の水面標高が等しくなるように、総貯水量が「河道」と「氾濫原」に分配される。

[2-2] 流量は、河道網にそってのみ発生すると仮定する。流速・流量は、上流・下流グリッド間の水面勾配に基づいて拡散波方程式で計算されたため、平坦流域で重要な背水効果を再現することが出来る。貯水量の時間発展は、上流下流との流量フラックスと陸面モデルからの流出量を考慮した連続式で計算する。



$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} + i_b - i_r = 0$$

Dynamic Diffusive Kinematic

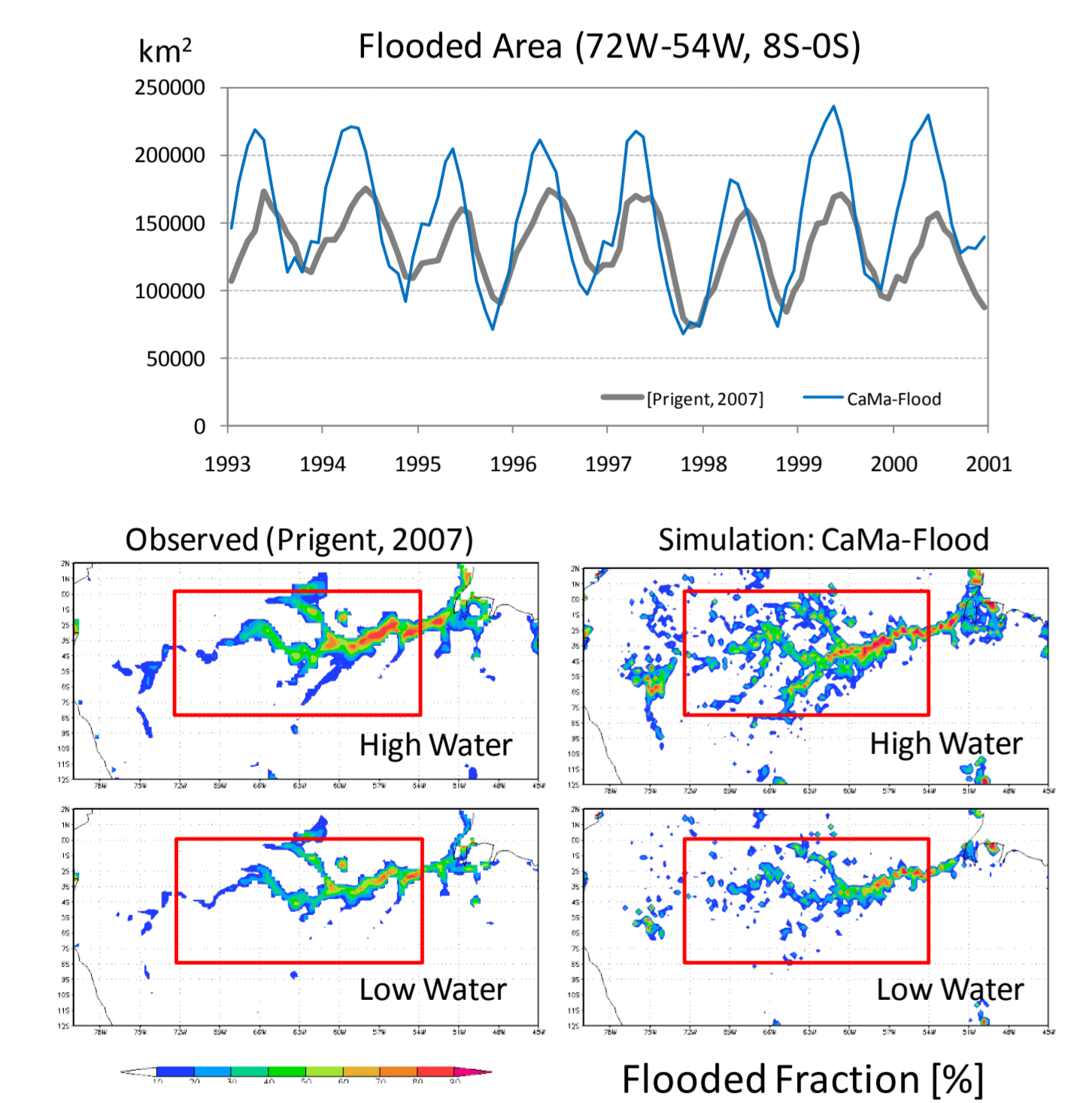


[2-3] 河口境界条件となる海面水位変動は、経験式に基づく周期関数で与えられる。ここでは潮汐の主要4成分のパラメータを差異二乗法で求めた。

Component	Cycle 9 [h]	Factor(s)
M_2 Principal lunar semi-diurnal tide	12.42	Relative position of the Earth - Moon
K_1 Luni-solar diurnal tide	23.94	Relative position of the Earth - Moon - Sun
S_2 Principal solar semi-diurnal tide	12.00	Relative position of the Earth - Sun
O_1 Principal lunar diurnal tide	25.82	Earth - Moon, 2nd mode of Spherical Harmonics

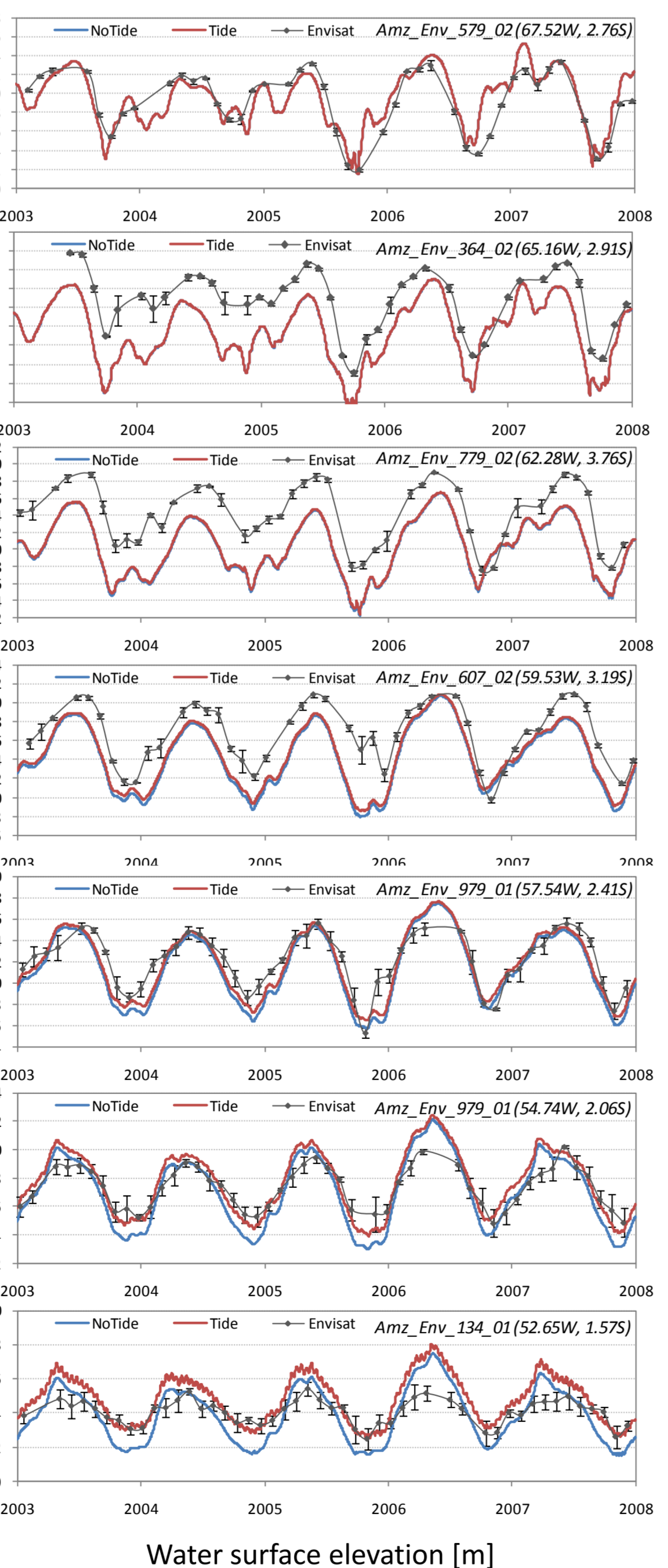
[4-2] 浸水面積

浸水面積の時空間分布をマイクロ波放射計を中心としたマルチ衛星データ [Prigent, 2007] と比較した。振幅が過大評価されているものの、上手く再現されていると言える。



[4-3] 水面標高

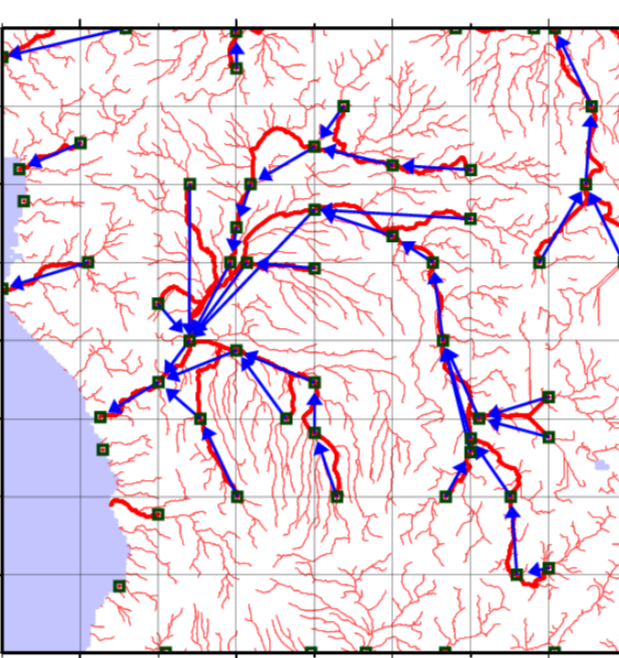
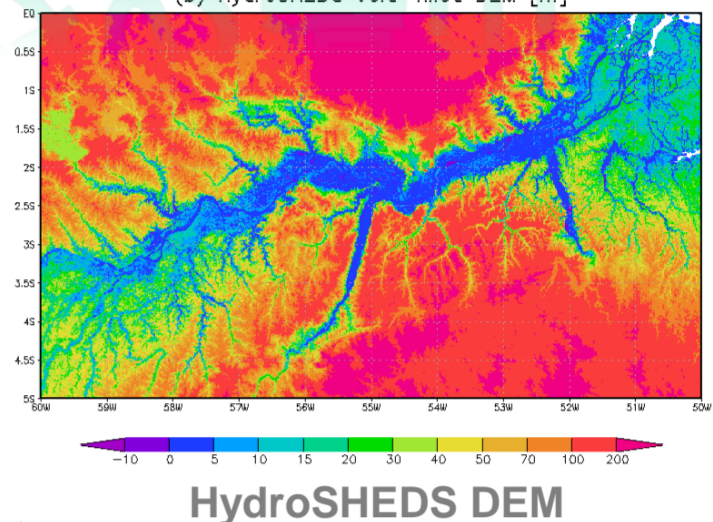
アマゾン川の本流部においてCaMa-Floodの水面標高をENVISATの衛星高度計と比較した。CaMa-Floodは水面標高季節変動の振幅と位相を上手く再現できている。しかし、絶対標高にはバイアスが認められた。下流部では潮汐あり/なしで差異がみられた。



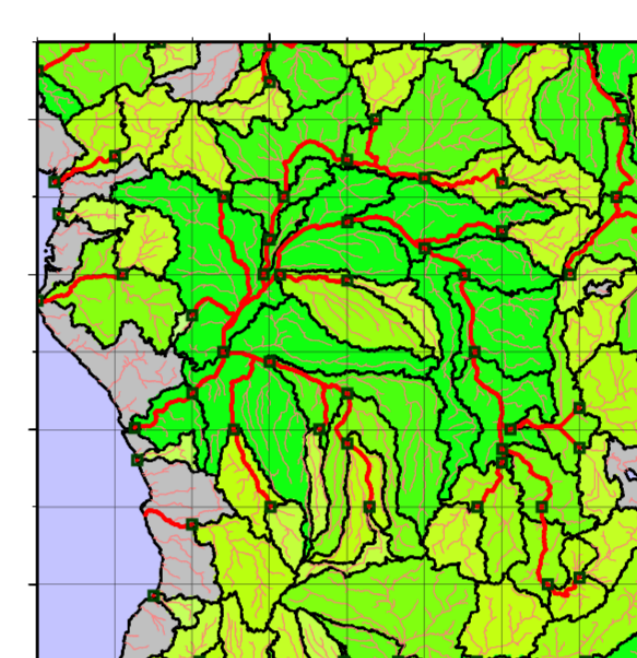
本研究では、南米のアマゾン川流域でケース・スタディを行った。アマゾン川流域は非常に平坦な地域に広がるため水の流れは地形勾配よりも水面勾配に支配されている。また、潮汐による海面変動が背水効果により河口から800km以上も上流まで伝搬し、水位変動として検出されることも知られている。これらの現象をモデルで再現するには、水位が精度よく再現された上で、水動態の支配方程式として拡散波方程式を導入し背水効果を考慮する必要がある。したがって、アマゾン川流域における水位変動の再現性を検証することは、全球河川氾濫原モデルによる大陸河川の水位変動の予測可能性を議論する上で一つの指標になると判断した。

(3) サブグリッド地形パラメータの導出

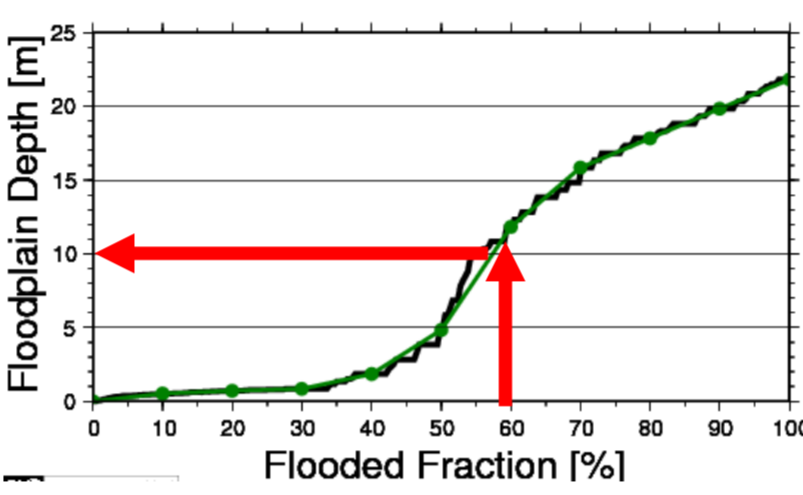
河道網とサブグリッド地形パラメータは、90m解像度のSRTM3 DEMとHydroSHEDSの表面流向データから、FLOWアルゴリズム [Yamazaki, 2009] によって自動的にかつ客観的に抽出される。



[3-1] "Outlet pixel" が各グリッドに定められる。河道標高(緑四角)と会流下先グリッド(青矢印)が、90m DEM と表面流向データから決定される。



[3-2] 河道長(赤線)が90mスケールの蛇行を考慮して抽出される。各グリッドの集水域(黒太線)が定義される。流下計算は長方形グリッドではなく、集水域単位で行われる。



[3-3] 集水域内の標高を昇順にソートすることで、氾濫原地形関数が得られる。この関数から、貯水量・水深・浸水面積の関係が実際の地形に基づいて計算される。

[Ex] Water depth is 10m when 60% of the catchment area is inundated

$$\text{Average Upstream Runoff } \bar{R}_{up}$$

$$W = \max[10.0, 1.0 \times \bar{R}_{up}^{0.7}]$$

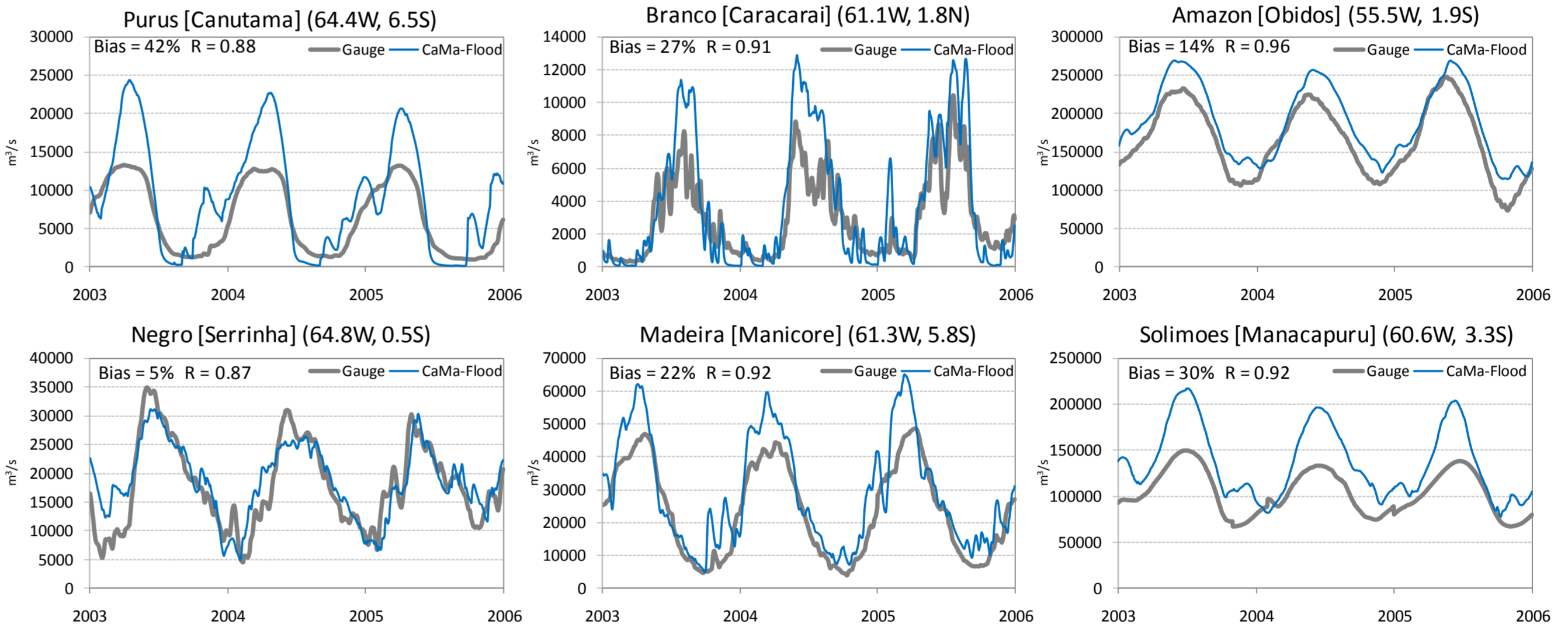
$$B = \max[1.0, 0.04 \times \bar{R}_{up}^{0.5}]$$

[3-4] 川幅と堤防高はDEMからは抽出することができないので、流量の関数として経験的に定めた。

(4) 結果

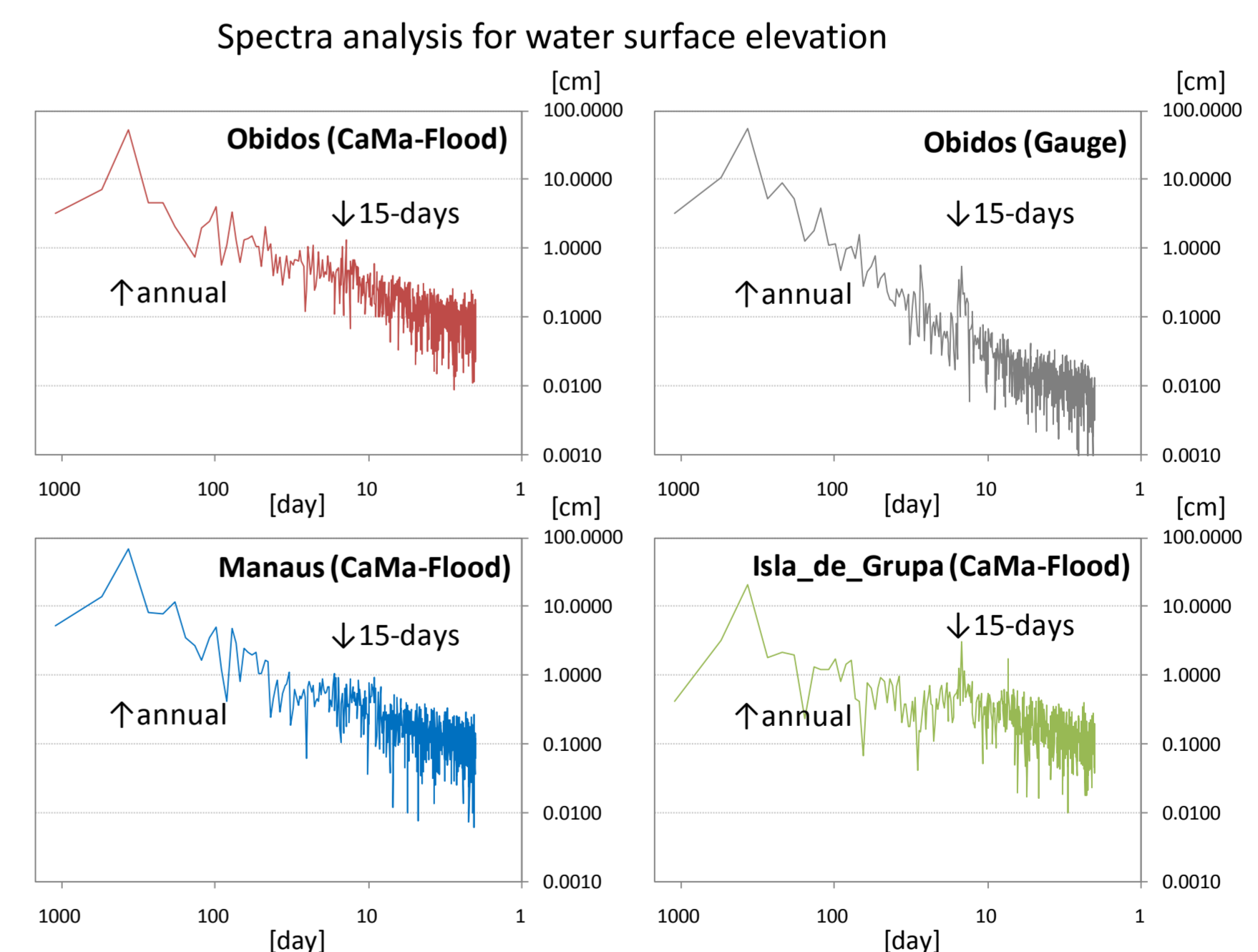
[4-1] 河川流量

再現された河川流量を、現地観測点と比較した。全体的に陸面モデルの流出量が過大評価されているが、上流部で見られた日スケールの変動が、氾濫原によって下流部で低減する効果などが上手く再現されている。



[4-4] スペクトル分析

水面標高変動のパワースペクトルをObidos (55.5W), Manaus (60.1W), Isla de Grupa上流部 (51.0W)で解析した。Obidos とIsla de Grupaでは、潮汐由来の15日周期成分が検出されたが、上流部のManausでは検出されなかった。Obidosにおける15日成分の振幅も1cmと現地観測の値とよく一致していた。



[4-5] 流量変動の伝搬

潮汐あり/なしのシミュレーションの流量の差を時系列で比較したところ、潮汐由来の15日周期で、流量変動が下流から上流への伝搬が再現されていることが示された。伝搬速度は80km/dayであった。

(5) まとめ

アマゾン川流域の潮汐現象を対象に、CaMa-Floodによる水位変動の予測可能性を議論した。CaMa-Floodは水位変動を大まかに予測できたが、現状では観測データを完全に再現しているとは言えない。さらなる予測精度向上に向けてモデル不確実性の低減を進めるとともに、衛星観測による水面標高を全球河川氾濫原モデルにデータ同化するという新たな技術開発を通して本研究成果をより詳細な地表水動態の解明につなげたい。

REFERENCES

[1] Prigent, C., F. Papa, F. Aires, W. B. Rossow, and E. Matthews (2007), Global inundation dynamics inferred from multiple satellite observations, 1993–2000, *J. Geophys. Res.*, 112, D12107, doi:10.1029/2006JD007847.
[2] Yamazaki, D., S. Kanae, and T. Oki, "A physically-based representation of floodplain inundation dynamics in a global river routing model", *Water Resour. Res.*, vol.47, W04501, doi:10.1029/2010WR009726, 2011.
[3] Yamazaki, D., T. Oki, and S. Kanae, "Deriving a global river network map and its sub-grid topographic characteristics from a fine-resolution flow direction map", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol.13, pp.2241–2251, 2009.