

ベトナム低平地における洪水氾濫シミュレーション

岡田 尚樹* 永岡 淳一*
小川 進* 広瀬 和世**

キーワード：貯留関数法、潮汐、H-Q 関係

1. はじめに

ベトナム南部はメコンデルタの一部である。メコンデルタはメコン河により流出した土砂から形成された沖積層からなる。すなわち、コンポンチャムやプノンベン付近を頂点とし、タイ湾沿岸を西南端、メコン河最下流部にあたるバイコ川の東側枝川を東南端とする4万9520km²の広がりをもつ巨大な三角平野である。メコンデルタでは9月から11月にかけて河川が増水する。洪水は河川から溢れ、100万 ha 以上の低地が氾濫する。最悪の年には300万 ha から400万 ha といった広大な規模の洪水が起こる (堀博、1996)。そのため、これらの地域において洪水氾濫シミュレーションの手法を確立することはきわめて重要である。そこで、ベトナム、ホーチミン市近郊の東バムコ川流域で2000年10月に発生した

豪雨に対し、以下の2項目を研究目的とした。第一に、集中型モデルを構築し、リモートセンシングデータを用いて、氾濫シミュレーションを行うこと。第二に、解析結果から氾濫域での洪水の時系列をGISにより可視化することである。すなわち、貯留関数法による計算結果から2次元の氾濫領域を再現するわけである。これにより1次元解析でも、2次元平面解析と同等な結果が期待される。具体的な手順としては、まず降雨データを入力とし、貯留関数法を用いて流域貯留高を求めた。貯留関数法のパラメーターを決定するために Landsat ETM 画像から土地被覆分類図を作成した。また、潮汐による水位変動の影響を水位データから三角関数で近似、補正した。得られた流出解析結果からGISにより湛水域の時系列図を作成した。



図1 対象地域 (東バムコ流域)

* 立正大学地球環境科学部環境システム学科

** 日鉱探開株式会社

2. 方法

2.1 対象地域

対象地は東バムコ川流域である。東バムコ川はメコンデルタを流れる河川であるが、これまでの大部分の研究で注目されてきたのはメコン河のみであり、本流域の研究はほとんど行われていない。

2.2 データ

2000年10月30日から11月1日に Moc Hoa 観測所で観測された時間降雨データを入力として、貯留高、流出量、湛水深を求めた。その際、潮汐による水位変動を考慮して、Ben Luc 観測所で2000年1月1日から12月31日までに観測された時間水位データを使用した。また、2000年11月6日に撮影された Landsat ETM 画像から土地被覆分類図を作成した。浸透能および流出係数は流出解析で重要なパラメーターであり、土地被覆の状況によって変わる。例えば、森林では表面流出はほとんど生じない。これに対して、都市域では降雨のほとんどが流出してしまう。そこで、Landsat ETM 画像より作成した土地被覆分類図をパラメーターの決定に利用した。地形情報抽出には SRTM による90m メッシュ DEM を使用した。SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) とはシャトルに搭載された合成開口レーダーを用いて、地表のレーダー画像を取得する装置である。SRTM はシャトルの貨物室に搭載されたメインアンテナと、貨物室から左舷方向に60m 展開するマストの先端に取り付けられた船外アンテナの2つのアンテナを使用している。これにより干渉法と呼ばれる技術によって立体的な画像を収集することができる。この立体画像から作成される標高データが DEM (Digital Elevation Model) である。

2.3 土地被覆分類

画像処理手法による土地被覆分類は、地表面上にある被覆物体はそれぞれに特徴的な反射特性をもつという原理を応用したものである (長澤良太、2002)。その方法には、2通りのやり方がある。ひとつは、基地の情報を使用せず、多バンドの反射特性値を多変量解析で分類する方法で「教師なし分類」と呼ばれる。もうひとつは、現地踏査や既存の資料などによって代表的な土地利用のトレーニング (標本) をサンプル抽出し、これを教師として対象範囲の全体を最尤法で分類する「教師付き分類」である。本研究では、まず、教師なし分類により仮の土地被覆分類図を作成した。ついで、現地踏査を行い実際

の土地被覆の状態を調査し、先の土地被覆分類図と現地踏査で得た情報から最終的な土地被覆分類図を作成した。

2.4 貯留関数法

貯留関数による洪水流出計算法は、1961に木村俊晃によって提案された (建設省水文研究会、1983)。流出現象の非線形性を表すために、降雨から流出への変換過程を、貯留量と流出量との間に関数関係を仮定して、貯留量を媒介変数として降雨量から流出量を求めようとするものである。貯留関数法は、洪水流出が表面流であるとして、Manning 式等から、流域の貯留量 s (m^3) をその流出量 Q (m^3/s) の指数関数

$$s = kQ^p \quad (1)$$

で表して運動方程式とする。ここで、 p : 指数、 k : 係数である。さらにこれを連続方程式

$$\frac{1}{3.6} f r_e A - Q = \frac{ds}{dt} \quad (2)$$

と組み合わせて流域流出量と河道洪水流を計算できる。ここで f : 流入係数、 r_e : 流域の平均有効降雨強度 (mm/h)、 A : 流域面積 (km^2) である。実際の流出計算においては(1)、(2)式の流域貯留量、流出量とともに流域面積 fA で除し、貯留高 S (mm) および流出高 q (mm/h) とし、これを変数として計算を進める。すなわち、流出域、浸透域の領域についてそれぞれ、

$$r_e - q = \frac{dS}{dt} \quad (3)$$

$$S = kq^p \quad (4)$$

を基本式とする。本研究では、 $p = 0.67$ 、 $k = 20$ とした。後にも述べるが、この流域はきわめて標高が低い地域であり、河川の逆流が起こる。そのため、上流から下流へと一方向だけの水系網を構築する Kinematic wave 法を適用することは妥当でない。

2.5 湛水深の時系列

感潮域の長さは河川によって異なり、一般には勾配が小さく、断面積の大きい河川ほど感潮域が長くなる。比較的勾配の大きな日本の河川では感潮域の長さは数 km から数十 km 程度のことが多いが、大陸の勾配の小さな河川では数百 km にわたるものも少なくない (西條ほか、1996)。河口からの海水の遡上は、潮汐により毎日約2回変化し、さらに約2週間を周期として大潮、小潮と変化する。感潮域における特徴的な水害としては、上流の

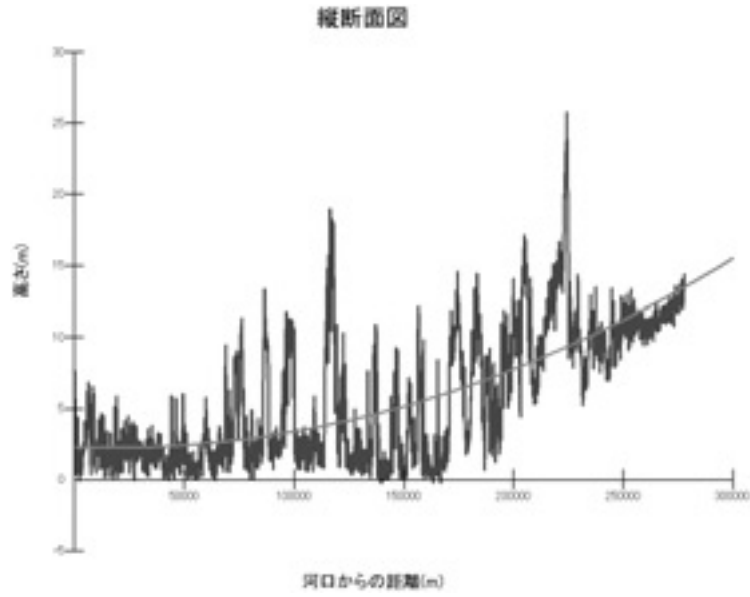


図2 東パムコ川の縦断面図

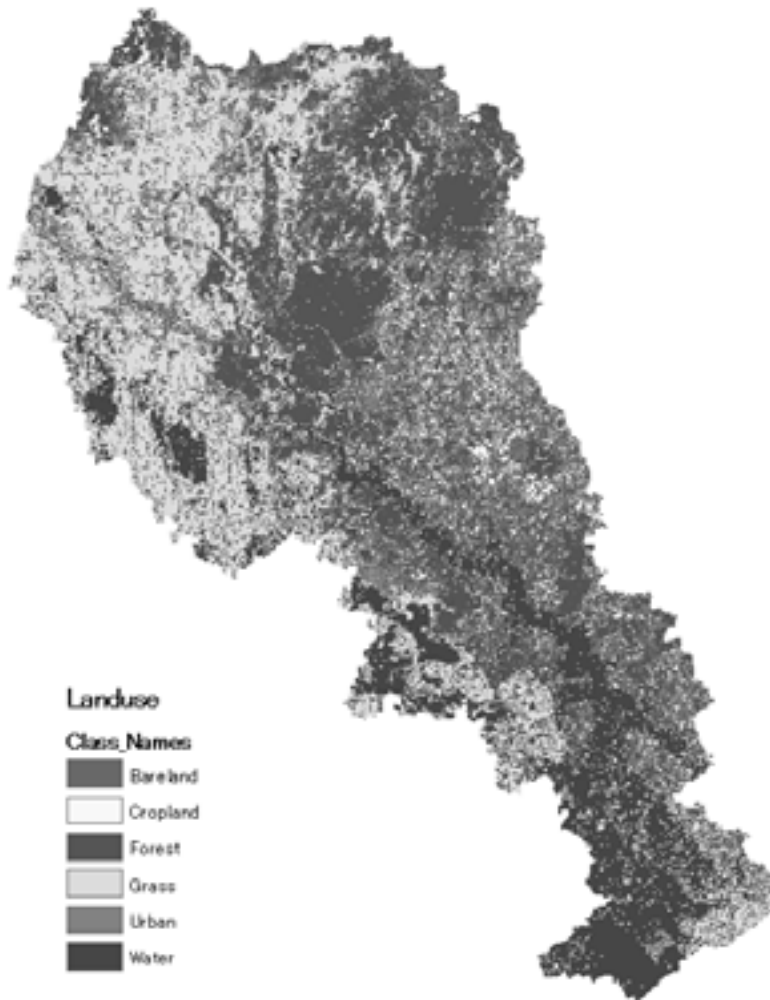


図3 Landsat ETM 画像より作成した土地被覆分類図

豪雨によって流下してくる洪水が、河口から遡上してくる高潮や津波と重複することにより引き起こされる異常高水位がある。この流域は、きわめて標高が低い地域で

あるため、かなりの上流までが感潮域となっており、河川の逆流が起こる。そのため、水位データから潮汐による変動を三角関数で近似、補正をした。図2に対象河川

表1 各土地被覆の面積率

Landuse	Area (km ²)	Rate (%)	Runoff Ratio
Forest	1904.5	26.1	0.1
Water	1446.7	19.8	1
Bareland	637.2	8.7	0.4
Urban	1005.8	13.8	0.8
Grass	2120.8	29.0	0.3
Cropland	187.0	2.6	0.4
Total	7302.2	100	0.47

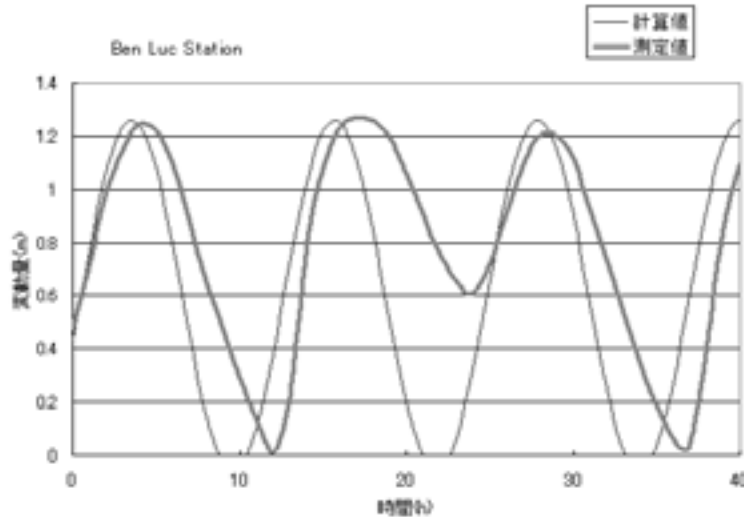


図4 Ben Luc Station で観測された潮位変動

の縦断面図を示す。流路長が300km 近くあるにもかかわらず、標高差は15m にも満たないことが分かる。

3. 結果

3.1 土地被覆分類

図3に Landsat ETM 画像より作成した土地被覆分類図、表1に各土地被覆の面積率と流出係数を示す。森林は流域北部の比較的標高の高い地域に多く、中部は都市域や耕作地が混在していることが分かる。今回の洪水では、流域南部が特に大きな被害を受けている。流出係数は、流域全体で0.47となった。

3.2 潮汐

潮汐を三角関数で回帰した。無降雨時の潮汐データより次式が求められた。

$$h = 60 + 66 \sin(12.066t + \alpha) \quad (5)$$

ここで、 h : 潮位 (cm)、 t : 時間(h)、 α : 定数である。図4に観測した潮位変動とその計算結果を示す。本研究で使用している時間とは、降雨データが存在した2000年

10月30日 0 : 00からの経過時間である。

3.3 流域貯留高と流出高の時系列

図5に貯留関数法により求めた、流域貯留高と流出高の時系列を示す。44時間目、つまり2000年10月31日 8 : 00から貯留高と流出高が急激に増えていることが分かる。この時刻から3時間にわたり99.1mmの豪雨が降っており、これにより洪水が引き起こされたと考えられる。

3.4 観測点における水位変動

観測点における H-Q 関係を図6と式(6)に示す。H-Q 関係は、観測した河床断面図から各水深とそのときの河積を求めて導出した。

$$H = 0.173\sqrt{Q} + 1.252 \quad (6)$$

ここで H : 水深(m)、 Q : 流量 (m³/s) である。これにより、流出量を水位に変換する。図7に潮汐による水位変動に流出量を加えた水位変動の解析結果を示す。

3.5 湛水深と貯留高の関係

DEM から得た、湛水深と各湛水深ごとの流域貯留高

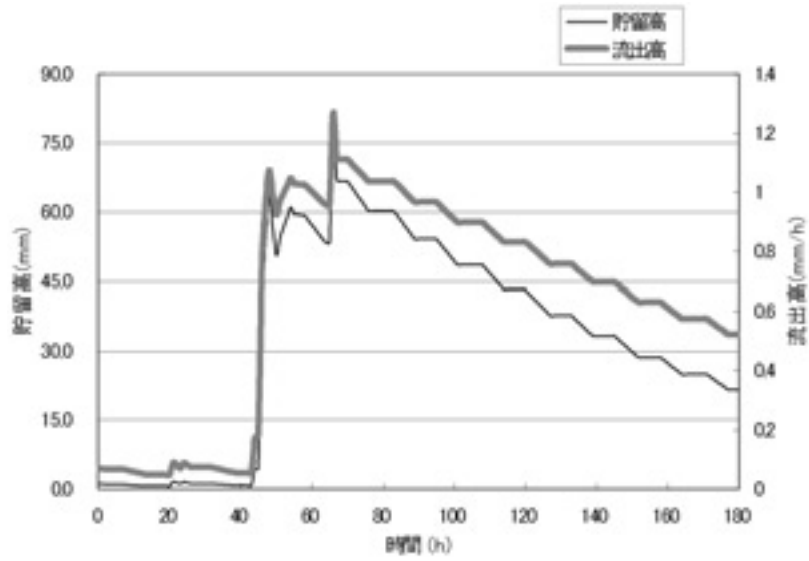


図5 貯留関数法により求めた流域貯留高と流出高の時系列

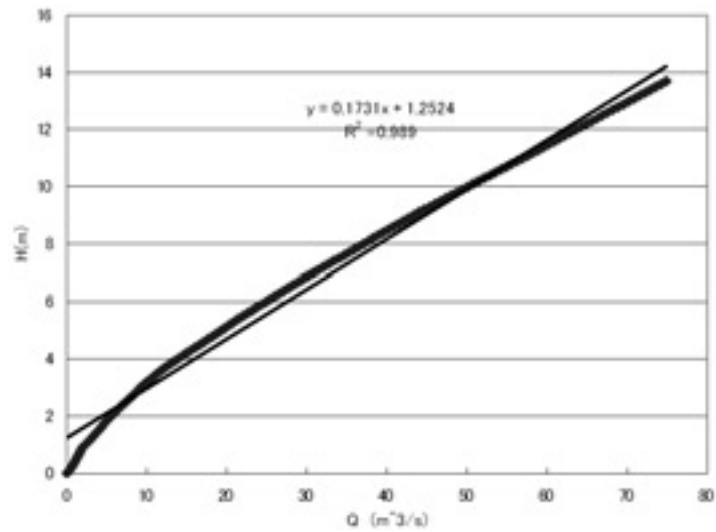


図6 Hiep Hoa における河床断面図より導いた H-Q 関係

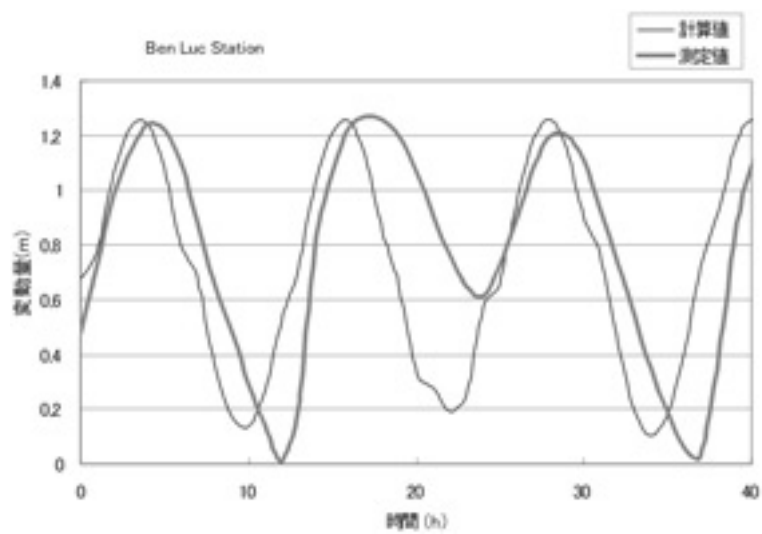


図7 潮汐と流出による水位変動

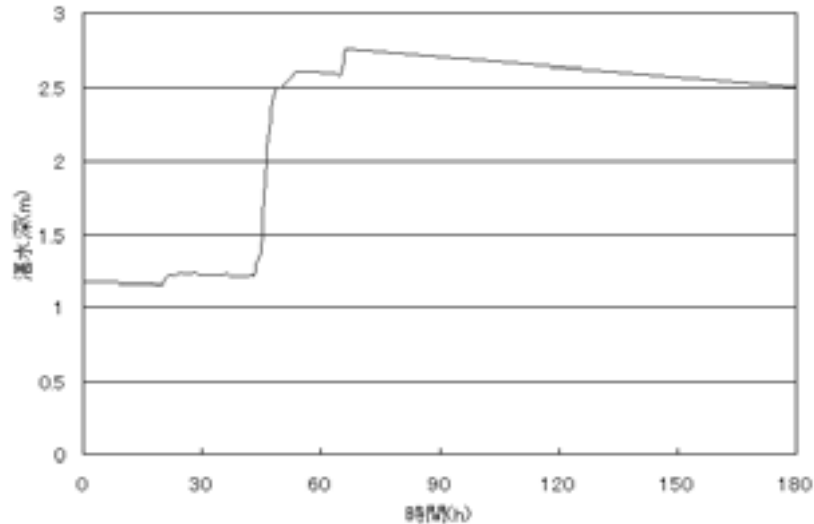


図8 H-S 関係より求めた湛水深の時系列

の関係より H-S 関係を次式に示す。

$$H = 0.303\sqrt{S} + 0.631 \quad (7)$$

ここで、 H : 湛水深(m)、 S : 貯留高 (mm) である。

3. 6 湛水深の時系列

図8に湛水深の時系列を示す。これより、湛水域の時間ごとの推定図を図9(a)~(f)に示す。図(f)は Landsat ETM 画像の水域のみを表示したものであり、図(e)は計算により求めた同時刻の湛水図である。Landsat ETM 画像の湛水域の面積は1446.7km²、計算により求めた湛水域の面積は、1093.0km²で前者の72.1%に相当した。

4. 考 察

洪水時の感潮河川に対して、貯留関数法による集中型モデルを構築と衛星データを利用した流出解析を行った。その結果と氾濫域の地形から得られる H-S 関係より、湛水域の時系列を描き、湛水状況を再現した。解析結果により求めた湛水域の面積は、実際の湛水域の72.1%に相当し、洪水氾濫のシミュレーションとして十分な精度であると考えられる。貯留関数法による流出解析の際、潮汐による影響を考慮に入れた場合、最終的な湛水深は2.3mとなった。しかし、潮汐の影響を考慮に入れなかった場合は最終的な湛水深は3.3mと大きな誤差が出た。つまり、感潮河川の場合には潮汐の影響を考えることは非常に重要であるといえる。今回の研究では、比較的標高の高い場所にあった湛水域の抽出ができなかった。今後は、これらを抽出する手法を確立しさらに精度を向上させたい。

5. 結 論

本研究の結論を以下に述べる。

- (1) 貯留関数法と衛星データを用いて、洪水氾濫シミュレーションを行った。Landsat ETM 画像からは、土地被覆分類図を作成して流出係数を決定した。SRTM による DEM から、地形情報を抽出し湛水深・貯留量関係を導出した。また、潮汐による影響を三角関数で近似し、回帰式を求め補正をした。得られた湛水深から GIS を用いて洪水氾濫状況の時系列変化を可視化した。
- (2) 貯留関数法による流出解析を行う際に、潮汐による水位変動を考慮に入れた。潮汐の影響を考えなかった場合の結果と比べると、湛水深に1.0mの差が出た。すなわち、感潮河川に対しては潮汐の水位変動を考慮に入れることが非常に重要である。
- (3) 本研究の主要な適用分野として防災計画が挙げられる。本研究では土地被覆を考慮した降雨・流出現象を時系列で表現した。また、その結果から GIS による洪水氾濫シミュレーションに応用することができる。
- (4) GIS を用いて DEM ファイルから湛水状況を再現したが、比較的標高が高い場所にあった湛水域が抽出できなかった。そこで、今後はこれらの湛水域も抽出できるようなモデルを考える必要がある。また、本研究では集中型モデルを構築して流出解析を行ったが、より精度の高い解析を行うためには分布型モデルを構築したい。

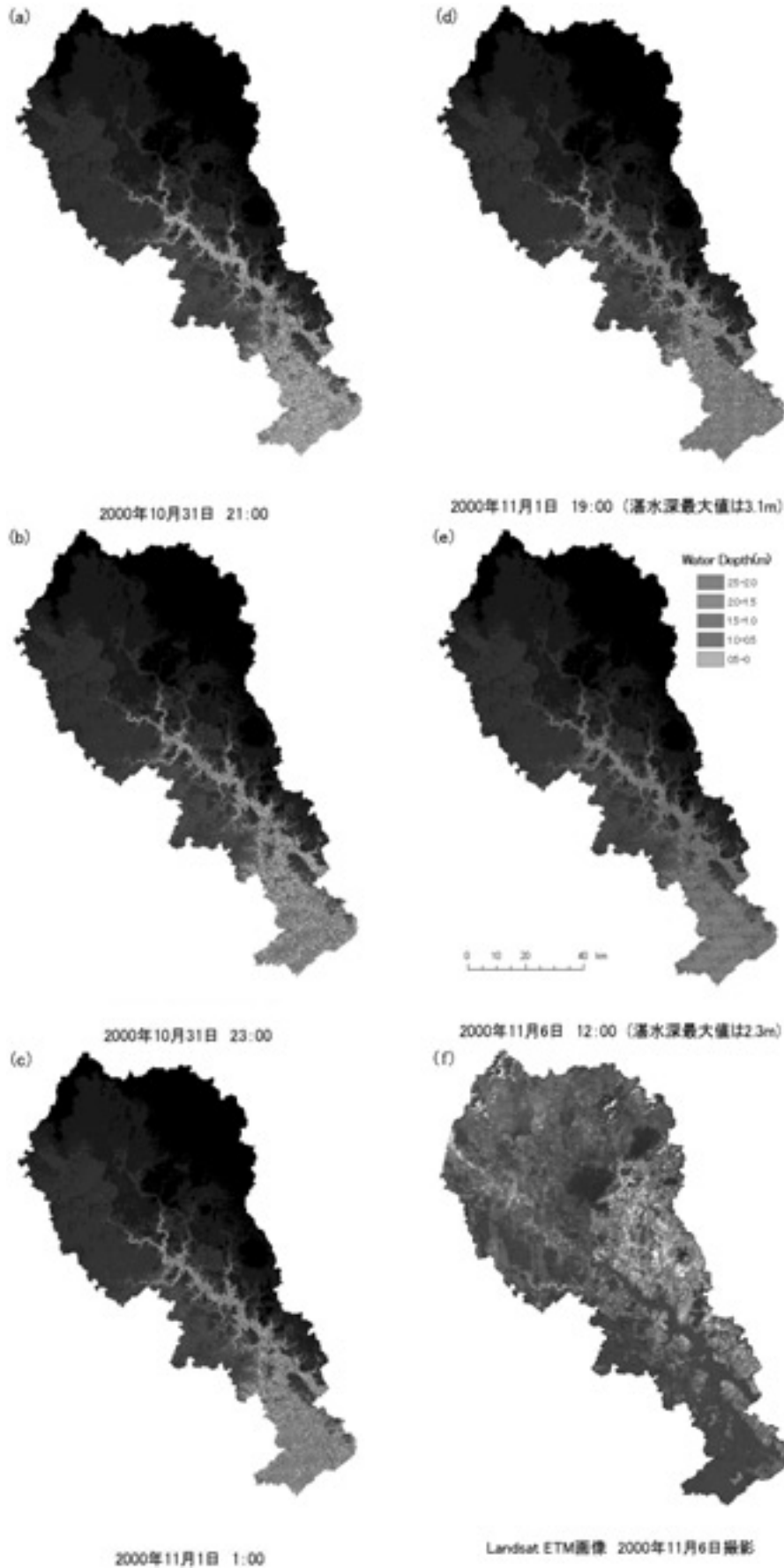


図9 DEM から作成した湛水深の時系列図(a) - (e)と実際の湛水域(f)

謝 辞

本研究を進めるに当たり、ベトナム国立大学環境資源研究所 IER の Hang 教授、Anh 研究員、Tuan 研究員にデータの提供、現地調査の便宜をいただいたことをここに記し、謝意を表したい。

参考文献

堀博, 1996, メコン河 開発と環境, 古今書院.

建設省水文研究所会, 1983, 流出計算例題集 2, 全日本建設技術協会.

松本悟, 1997, メコン河開発 21世紀の開発援助, 築地書館.

水村和正, 1998, 水圏水文学, 山海堂.

長澤良太, 2002, リモートセンシングによる土地資質評価 - 東南アジアの土地利用 -, 古今書院.

西條八束 奥田節夫, 1996, 河川感潮域 その自然と変貌, 名古屋大学出版会.

Flood Damage Monitoring for a Lowland in Vietnam

Naoki OKADA*, Jun'ichi NAGAOKA*, Susumu OGAWA*, and Kazuyo HIROSE**

*Faculty of Geo-environmental, Science, Rissho University, **Nikko-Tankai Co. Ltd.

This study was to construct a lumped model and to simulate time-series of depth for flooding area in the heavy rain that occurred in the suburbs of Ho Chi Minh City, Vietnam, in October 2000. Storage function method was used for the lumped model with a tidal condition and input of the neighbor rainfall data. Next, time-series of the catchment storage was converted to the ponding depth with shuttle DEM by GIS. This result explained pooling inundation from satellite data very well. Flood simulation was performed by satellite observation and flood analysis with the storage function method. This method would be available for flood forecast.

Keywords: storage function method, tide, depth-discharge relation