

## 衛星画像によるガンジス川（パドマ川とメグナ川）の流速ベクトル測定

勘りモート・センシング技術センター

研究部長 田中 總太郎

SPARRSO ナズムル ハク

広島工業大学 高崎 健二

### 1. はじめに

ガンジス川の河岸侵食を予測するうえで洪水時の流速分布は重要なパラメータである。流速ベクトルの測定を衛星画像から行う方法、条件、事例を示す。

衛星画像データによる移動物体の速度ベクトル計測手法（高崎 2001）は、従来、船舶、航行する航空機、空港を移動する航空機、自動車、雲など速度ベクトル計測に応用できることが示されてきた。その方法は、JERS-1/OPSの前方視と直下視画像のデータ収集時刻に約22秒の時間差があることを利用している。一方、黒潮の速度ベクトル（田中他 1982）は「シーマーク」を追跡することで測定できる。黒潮速度ベクトルの測定は現象が数十キロメートル程度と大きなため、12時間差のあるNOAA/AVHRR画像がデータとして使われる。これら二つの方法をガンジス川の流速ベクトル測定に応用する。

### 2. シーマーク法による流速ベクトル測定

ガンジス川の流速ベクトル測定の対象は、現象の規模が数10メートルで現象の継続時間が数10秒程度である。この条件に合致する衛星データには、JERS/OPSおよびTERRA/ASTERがある。1997年9月28日のJERS/OPSデータを使いガンジス川の流速ベクトルを測定した。

測定可能な水面は、パドマ川とメグナ川の合流点付近である（図1）。パドマ川からの大量の濁水が比較的澄んだメグナ川の水流出会う境界で水塊が渦パターンを形成し明瞭な境界を保持した状態で数十秒間は流下する。

この水塊の流下速度は衛星画像から測定できる（図2）。この付近の土地は標高7m以下の平坦地であり、OPSによる15.3度の斜め観測でも水平位置ズレは2m以下である。従って、前方視画像と後方視画像を同一平面にあるものとして位置合わせすれば、その誤差は2mを超えない。区画Aと区画B（サイズ：流れの方向に15.3km）を選び、それぞれの区画毎に一次線形変換にて位置あわせをする。位置合わせの誤差は、最大で区画Aが0.85画素、区画Bが0.2画素程度であった（画素サイズ：18m）。次に水塊の標定精度は、0.5画素程度である（画像を倍伸ばしにして、水塊境界の線分を視準している）。これに見合った各水塊の標定点計測誤差が伴う。ここでは0.5画素に対応する0.4m/秒を速度ベクトルの計測誤差の標準値としておこう。

区画A（図3）：計測6点の速度分布は、最大が4.0m/秒で下流右岸寄り、狭隘部直下では2.0m/秒であった。

区画B（図4）：計測5点の速度分布は、上流部で0.4m/秒、流下するに従って増速し下流部で3.2m/秒であった。

### 3. カメロン効果による流れの実体視

図2は図3を時間画像に分解したのものである。流動する水の実体視は、陸上の形の定まったターゲットの実体視と異なり、云うならば掴みどころが無い。時間差のある画像に映った移動物体を実体視すると、その移動物体の実際の高さよりも高く或いは低く見える。このことを「カメロン効果」と云うと土木学会「水理公式集」には記されている。水流の

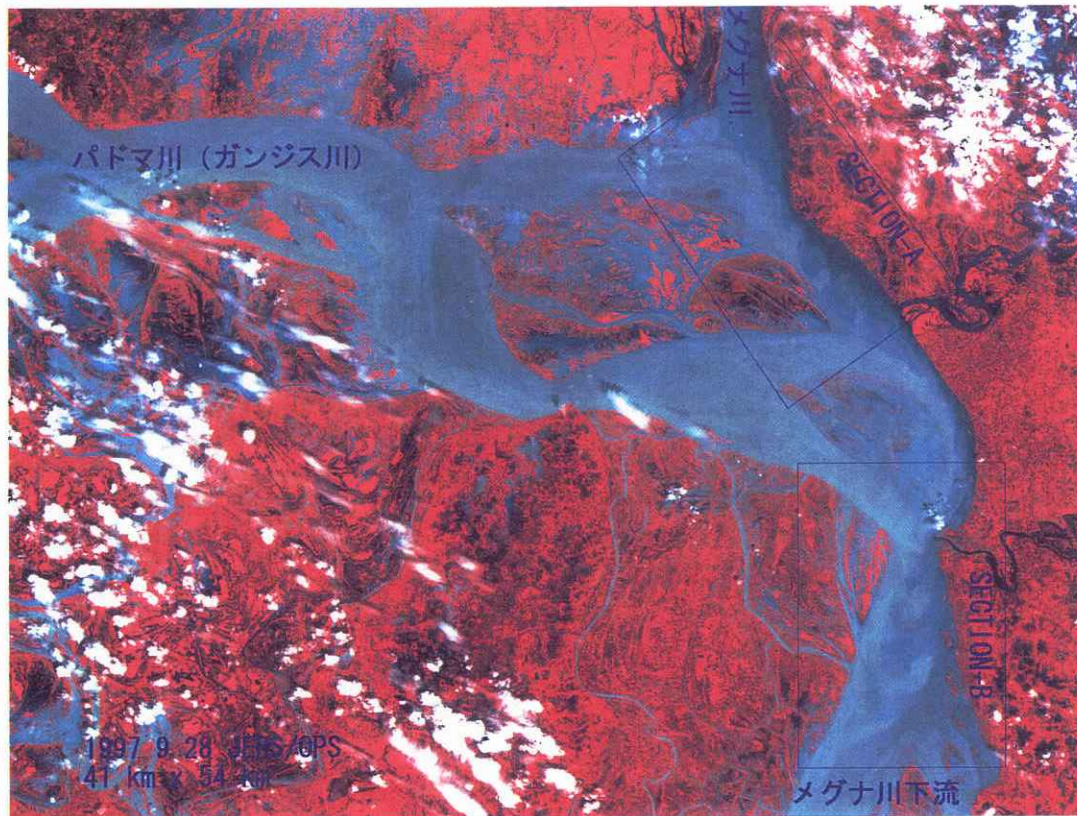


図1 洪水時のガンジス川（パドマ川とメグナ川）の水流（1997年9月28日，JERS-1/OPS）セクションAとBにて水塊パターンが識別できる。流速ベクトル測定が可能。



図2 左右に並べた時間差画像。水塊の位置の動きを測定して速度ベクトルを計測する。実体視すると矢印が水面上の空間に浮かんでいるように見える（カメロン効果）



速度計測についての論文 (Cameron 1952) が原典であるが、以後の欧米の文献にこの用語を発見することは困難である。発表元のアメリカでは廃れたが日本で流通している用語のようだ。もう一人のカメロン氏について記しておこう。微小時間差を利用して人物の動きを写真に撮る技法により有名になった19世紀後半のイギリスの女流写真家カメロン氏がいる。この写真家は動きを描写する画家セザンヌと比較されるが、本文で引用するカメロン氏は微小時間差を利用して水流の動きを写真に撮り計測しようとした。

図2を实体经济し矢印が浮かんで見えれば良い。水流のパターンは漠然としているから实体经济感覚も漠然としたものになる。左右画像の矢印は同じ平面位置に描画してあり、实体经济したときの矢印位置は地表面と同じ高さになっている。この矢印が水面から浮き上がって見えれば、その感覚が「カメロン効果」であり浮き上がりの量が「速度」に対応している。

#### 4. むすび

河岸侵食を含め河床の変動を知る上で河川の流速分布は貴重なデータとなる。川面全体の流速分布図 (木下1967) は航空写真により行われてきた。航空写真と衛星画像の技術要件は例えば次のようである。

航空写真を撮影しようとする、任意性は高いものの全工程を計画し認可を受けて実施する必要がある。衛星画像の場合、任意性は低い幸運にも撮影され条件が整っていれば測定はできる。

この日の流量は、ガンジス川から約4万 $\text{m}^3$ /秒 (Hardinge観測点)、ブラマプトラ川からその倍程度とメグナ川からの流量が加わったもの合計12万 $\text{m}^3$ /秒ほどが、区画Bの狭隘部 (幅2km) を通過していた。最大流速は狭隘部下方右岸寄りの4.0 $\text{m}$ /秒である。

#### 参考文献

- 1) 高崎健二、衛星画像データによる移動物体の速度ベクトル測定手法に関する研究、学位申請論文 (日本大学大学院理工学研究科)、2001.12.
- 2) 田中總太郎他、NOAA-6/AVHRRデータによる黒潮流動ベクトル図の作成と海洋渦および短周期蛇行に関する考察、日本リモートセンシング学会誌Vol.2 No.3 pp.11-32, 1982
- 3) Cameron, H. L., The measurement of water current velocities by parallax methods, Photogrammetric Engineering 18 pp.99-104 (1952).
- 4) 木下良作、航空写真による洪水流の解析、写真測量 Vol.6 No.1 pp.1-17, 1967.

	航空写真 (Wild RC-8)	衛星画像 (JERS-1/OPS)
撮影間隔	4秒 (Wild RC-8の最小間隔) 13秒 (泡の変形が大きすぎる)	約22.4秒 (固定間隔)
トレーサー	水面の泡	水塊 (渦パターンなど)
撮影高度	1,200m~1,500m	568km
撮影縮尺	1/8,000~1/10,000	空間分解能18.3m x 24.2m
撮影範囲	任意の約1.20km x 2km (60%重複率)	固定コースの走査幅75km内
撮影時期	任意	軌道要素に基づき固定
適用河川	川幅が2km以下 (木曾川など)	川幅15kmも可 (ガンジス川)
河川状況	水泡のある川面	濁度差の水塊のある河川合流点

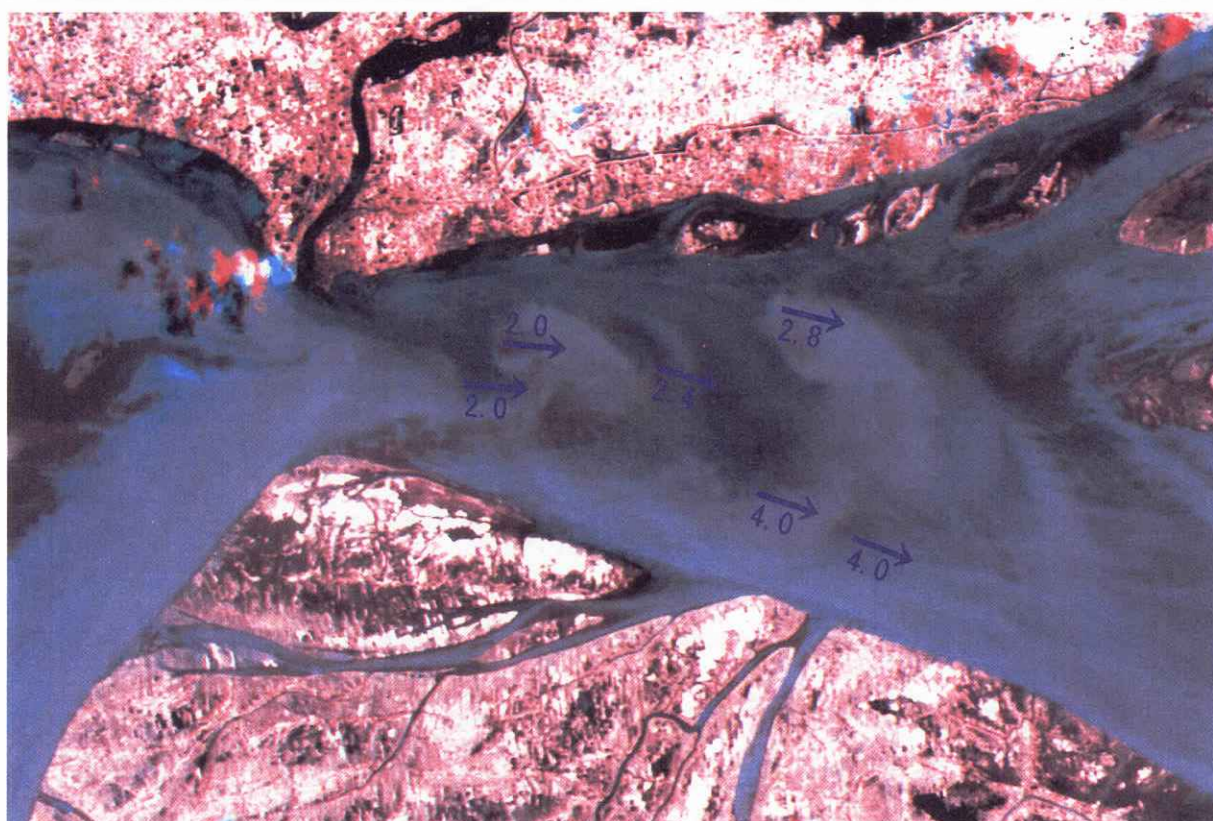
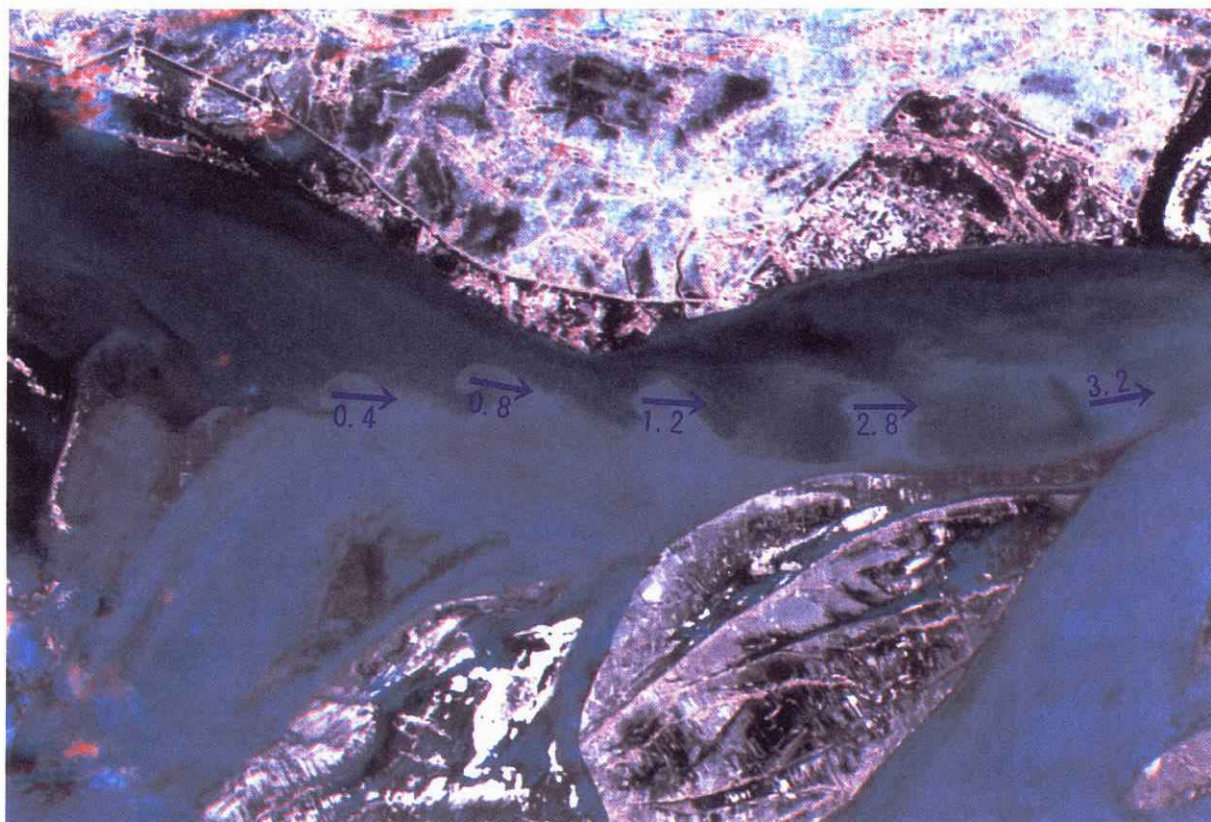


図3 (上) セクションAにおける流速分布 (単位m/s)。流れが徐々に早くなっている。  
図4 (下) セクションBにおける流速分布 (単位m/s)。最大流速は下流右岸の4 m/s。  
上下画像とも画郭は10.35km x 15.3km。カラー合成 (後画像 : R, 前画像 : GB)