衛星データを活用した利根川の 流路変遷に関する研究

藤井 壽生¹・西川 肇²・工藤 勝輝³・伊藤 一正⁴・

近藤 勉⁵・木田 哲量⁶・今野 誠⁷

¹ 正会員 日本大学教授 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 習志野市泉町 1-2-1)

E-mail:fujii@cit.nihon-u.ac.jp

² フェロー会員 日本大学教授 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 習志野市泉町 1-2-1)

³ 正会員 日本大学助教授 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 習志野市泉町 1-2-1)

⁴ フェロー会員 (株)建設技術研究所・国土文化研究所 (〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町 3-21-1)

⁵ 正会員 日本大学教授 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 習志野市泉町 1-2-1)

⁶ 正会員 日本大学教授 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 習志野市泉町 1-2-1)

⁷ 正会員 日本大学非常勤講師 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 習志野市泉町 1-2-1)

利根川は埼玉平野における大規模な分流・変流によって、多くの自然堤防や後背湿地などの痕跡を現在に残した。本研究は衛星リモートセンシング技術を活用した埼玉平野における自然堤防の可視化画像と寺社の立地分布図とのオーバーレイ処理によって、利根川の旧河道や河跡を推定するとともに、寺社の創建時期を通じて近世以前における利根川の流路変遷について検討した。

Key Words : alluvial lowland, satellite image, natural levee, tone river, Saitama Plain

1. はじめに

鮮新世(第三紀末)以降の造盆地運動によって形成された関東堆積盆地には鮮新世から第四紀にかけての地層が堆積し、埼玉平野には丘陵・台地・沖積低地などが広く発達している¹⁾。沖積低地の加須低地や中川低地では利根川が分流・変流を繰り返し、その河道に沿って多くの自然堤防がこの時代に形成された。自然河川に沿って形成された自然堤防は、洪水時に生ずる溢水によって運ばれた土砂のうち比較的粗粒な砂やシルトが河岸に残って堆積する連続性を持った帯状の微高地であり、堤防上には小規模な出水では冠水しないため集落や交通路が立地し、保水性が良く地下水位も深いので畑・果樹園・樹木に囲まれた居住地などが立地している^{2),3)}。また、利根川の旧河道・河跡に沿った自然堤防やローム台地上は多くの寺社が創建されており⁴⁾、その状況は現在の1/25000地形図などからも確認できる。一方、自然堤防の後背湿地は湿潤で泥炭土や黒泥土からなる排水不良地であり、そこには古い集落は立地せず泥炭地を除けば一般には水田になっている^{5),6)}。埼玉平野には、このような特徴的な地表面被覆状態(地被状態)が自然堤防の線状地形や後背湿地の

皿状地形上に展開している⁷⁾。沖積低地における旧河道・河跡に沿った自然堤防の分布は洪水氾濫の流下経路として、また軟弱な地質を示す後背湿地の分布状態は浸水域・地盤沈下・震害など事前情報として、防災計画策定において重要な役割を果たすものと考えられる⁸⁾。自然堤防を判読する基本的な情報源は地形図・第四紀地図・航空写真などであるが、近年では衛星画像が利用され始めている^{9),10)}。地形図は国土地理院が発行している国土基本図のほか、地質図・第四紀地図・土地条件図・古地図などを利用し、地形を構成する堆積物の構成や地表の形態を反映した土地利用の違いとして自然堤防を判読している¹¹⁾。航空写真は1/10000~1/40000の縮尺が利用され、実体視による地表面の起伏などの形態、線形地形の分布パターン、地表面の構成物質や土壌含水状況による色調などを尺度として自然堤防を判読している¹²⁾。一方、可視光~赤外線波長域の多重分光波長域の衛星データを利用した判読は、自然堤防の地被状態が示す光学的特性を媒介とした画像処理によって特定の地被状態を示す線形地形として可視化し、自然堤防の判読に利用されている¹³⁾。衛星データによる地形・地質などの判読は地被状態が示す分光反射特性という光学的な物理量を使い、コ

図-1 本論文のフローチャート

コンピュータ処理によって広域を一樣な同一の尺度で解析するという科学的に導かれた成果である¹⁴⁾。衛星データを用いた特定のな地被状態を媒介とした自然堤防の判読手法は、人為的な判断が加わらない客観性を持つという点が理解されると思われる。

本論文は、衛星データの画像処理によって自然堤防と同じ地被状態を持つ線形地形を把握し、利根川が残した自然堤防上に寺社が多く分布するという埼玉平野における寺社の立地特性と寺社の創建時期を活用した新しい視点によって、利根川が残した自然堤防の分布および流路変遷の歴史的経緯を明らかにすることを目的とした。衛星データの画像処理と寺社の立地特性を活用して利根川の流路変遷に関する本論文のフローチャートは、図-1に示したとおりである。なお、図中に示したグラントールズは、衛星画像に可視化されている自然堤防の地被状態を現地で確認するとともに、その分光反射特性を衛星データから把握する作業を意味している¹⁵⁾。

2. 衛星が捉えた関東平野の2大水脈

今から約1000年前の関東平野には、茨城県猿島郡の猿島台地を分水界として西側を東京湾方向に流下する利根川水系と東側を鹿島灘方向に流下する鬼怒川水系の2つの大水脈が流れていた¹⁶⁾。この2大水脈の様子については、地表面から反射してくる可視光～赤外線波長域の電磁波を観測した衛星データの画像処理によって作成した

写真-1 赤外カラー表示した関東平野のLandsat画像
-Band4,5,7(B・G・R)のカラー合成画像-

衛星画像で概観することができる。写真-1は、2004年6月4日に降雨直後の関東平野を観測したLandsat/TM/Band4,5,7データを用いて、各Bandデータに(青・赤・緑)を割付けて合成する画像処理によって作成した赤外カラー表示の衛星画像である。この処理で作成した衛星画像は、地被状態の違いが地表面から反射してくる電磁波の分光反射特性に基づいた色調の変化で表示される特徴を有する。すなわち、青を割付けたBand4に対応する近赤外線波長域で高い反射を示す植生域は緑系統色に、赤・緑を割付けたBand5およびBand7に対応する短波長赤外線波長域で高い反射を示す市街地や裸地は赤～茶系統色に、全波長域で電磁波が吸収される水域は黒色域に、それぞれ発色する特徴を有する。降雨で冠水した水田は植生と水が混成しているので濃緑に発色し、森林等の植生域が示す緑色域と区分できる。このような降雨直後に観測された衛星画像を利用することによって、画像中央部の猿島台地を境にして西側に広がる面的な加須・中川低地、ならびに東側を北から南下して西方向に屈曲する線形的に連続する鬼怒川・小貝川・利根川下流の各低地¹⁷⁾に立地する後背湿地を可視化することができる。自然河川の溢水によって形成される自然堤防の後背湿地に水田が立地することを考えると、後背湿地の分布は1000年以前に2大水脈が流れた大筋の経路として判読できる。加須・中川の沖積低地に見られる水田の島状の広がり、鬼怒川水系に沿って展開する水田の線形的な分布に比べて利根川の変流・分流の激しさを彷彿させる。江戸時代の初期(1594年)に始まったとされる利根川の東遷事業は、利根川水系と鬼怒川水系を分けた猿島台地に水路(赤堀川)を開削し、江戸湾に注いでいた利根川と渡良瀬川の流れを流域の異なる鬼怒川水系に付け替え、これを鹿島灘の銚子に流下させた江戸時代の歴史的な一大治水事業であった^{18), 19)}。

図-2 河跡の分光反射特性調査地点(赤線)

写真-2 河跡を撮影した航空写真

3. 衛星データから地被情報の抽出

衛星データから必要とする情報を抽出するには、地表を観測する衛星の位置や姿勢などに起因する幾何学的歪みを補正する前処理、必要とする情報を強調して画像出力する画像処理の2段階を経ることになる。衛星データを用いて自然堤防と同じ地被状態を抽出する場合には、あらかじめ自然堤防の地被状態が示す分光反射特性を把握し、これを教師とした画像処理が有効である。本研究では、自然堤防に立地する畑・果樹園・樹木に囲まれた居住地、後背湿地に立地する水田などの地被状態が示す分光反射特性を教師とし、Landsat データを用いた画像処理によって、埼玉平野における自然堤防と同じ地被状態を抽出・可視化した。

(1) 衛星データの幾何学的補正

観測衛星の位置や姿勢によって生ずる衛星画像の幾何学的歪みは、時間的な位置および形状変化の影響を受けにくい地上検証地点(GCP)の画像座標系と幾何学的歪みの無い地図系座標の変換式を用いて補正した。なお、幾何学的歪みの補正過程における座標系の変換については下記の式(1)に示す高次多項式によって、入力画像におけ

図-3 河跡部の横断地形

図-4(a) 降雨直後に観測した分光反射特性

図-4(b) 降雨の無い時期に観測した分光反射特性

る各画素データの出力画像への再配列については下記の式(2)を用いた最近隣内挿法によった²⁰⁾。

$$u = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x^{i-1} y^{j-1}, v = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} x^{i-1} y^{j-1} \quad (1)$$

ここで、(x,y): 出力すべき地図座標、

(u,v): 画像座標、i: 画素番号

j: ライン番号、a,b: 座標変換式の係数である。

$$P = P_{ij}, i = [u+0.5], j = [v+0.5] \quad (2)$$

ここで、P: 内挿したい点の画像データ、

P_{ij} : 観測点 (i,j) の画像データ

[] : ガウス記号

(2) 自然堤防の地被状態が示す分光反射特性

埼玉県杉戸町遠野付近に現存する近世以前の渡良瀬川が残したと考えられている蛇行する河跡を対象に^{21), 22)}、横断方向の地形・地被状態ならびに Landsat-5/TM データが示す河跡部横断方向の後背湿地-自然堤防-河床-自然

写真-3 埼玉平野のカラー合成画像 Band2,3,4 (B,R,G)

写真-4 埼玉平野の比演算画像 (Band4/7)

堤防・後背湿地の分光反射特性を調べた。図-2 は、国土地理院発行の数値地図 1/25000 地形図に緑色で表記されている杉戸町遠野付近の「樹木に囲まれた居住地」が蛇行する河跡部に設定した横断測線の位置(赤線)を示したものである。写真-2 は当該地を約 300m の上空から撮影した航空写真で、集落・道路・畑地・屋敷林など人工的な地被状態が蛇行する 2 列の自然堤防、畑地の河床部、自然堤防の外側に水田の広がる後背湿地を明瞭に視認することができる。なお、写真上部の赤線は本研究で河跡部に設定した横断測線の位置を示したものである。図-3 は現地測量で得た河跡部の横断地形を示したもので、地盤のやや低い中央の河床部、その左右にやや高く盛り上った自然堤防、さらにその外側の平坦で低平な後背湿地など、河跡部の基本的な横断地形が確認できる。なお、横断地形図に記入してある自然堤防・河床部・後背湿地の区分は、横断地形の凹凸と分光反射率の変化地点における地被状態とから総合的に判断して決めた。

図-4(a), (b) は、2004 年 6 月 4 日の降雨直後および 2001 年 6 月 4 日の無降雨時に観測した Landsat 画像からサンプリングした横断測線における Landsat データ (DN 値) の変化を示したものである。降雨時には河床部や後背湿地の水田は冠水するが、自然堤防の地被物には冠水しないので、水に吸収される赤外線波長域のデータは河床部や後背湿地において低下し、水による吸収が少ない自然堤防において上昇する分光反射特性を示すことになる。この特性は、図-4(a) に示されるような赤外線波長域 (Band4,5,7) データが示す横断方向の変化は河床・後背湿地で低く、自然堤防では大きくなる明瞭なる差異となって観測される。一方、河跡部に降雨が無い時期に観測した衛星画像の横断測線からサンプリングした Landsat データが示す変化は多少の差異を生じているが、図-4(a) ほどの顕著な差異が認められない。特に、植生域に高い反射を示す Band4 データが河床部で低くなっており、河床部に降雨時には冠水するような畑地などの植生域が立地しているためと考えられる。

図-5 河跡を観測した衛星画像と 1/25000 地形図

(3) 必要とする地被状態を可視化する画像処理

観測波長域の異なった衛星画像には、分光反射特性に対応した異なった地被に関する衛星情報が含まれている。そのため、観測波長域の異なる複数の衛星データを用いて必要とする衛星情報を抽出・可視化するには、観測波長域の異なる衛星画像のカラー合成や画像間演算などによって全く別の情報を作り出して画像出力する画像処理が有効である。本論文では、埼玉平野に現存する河跡部における自然堤防や後背湿地の地被状態が示す分光反射特性を教師として、以下に示す Landsat-5/TM データの画像処理によって、自然堤防と同じ特異的な地被状態に関する衛星情報を抽出・可視化した。

a) カラー合成処理

カラー合成処理は観測波長の異なる 3 つのモノクロ画像にそれぞれ青・緑・赤の 3 原色を割当てて混色表示し、地被状態が示す分光反射特性(教師データ)に基づいた色調の違いで表示する画像処理である。植生や土地利用を衛星データで概観する場合には、Band2,3,4 データのカラー合成処理で作成した衛星画像を用いるのが一般的である。本論文では、この波長

図-6 埼玉平野における寺社の立地分布図

写真-5 Band (4/7) の2 値化画像

域データで作成した衛星画像によって自然堤防が示す特定のな地被状態の抽出・可視化を試みた。

写真-3 は、Band2 画像に青、Band3 画像に赤、Band4 画像に緑をそれぞれ割当てたカラー合成処理で作成した埼玉平野の赤外カラー画像である。この衛星画像では、冠水している水田がネズミ色、冠水していない草が緑色、雑木林・裸地・建物などが混在した地被域および市街地などの無植生域がピンク色に発色している。本画像ではネズミ色域の中を蛇行する緑混じりのピンクで線形的に発色している個所が自然堤防であると判読することになる。しかしながら、埼玉平野に点在する島状のローム台地は自然堤防と同じ地被状態であるためか、自然堤防と判定した地被状態と同じ色調で発色している。

b) 画像間演算処理

画像間演算処理は、同じ対象領域を異なった波長域で観測した 2 つの衛星画像間の比演算によって特定のな地被状態を強調する処理である。河跡における調査で Landsat-5/TM/Band4,7 データの差異が自然堤防と河床・後背湿地で大きく異なることを確認できたので、Landsat/(Band4/Band7) の画像間演算処理によって自然堤防の抽出・可視化を試みた。

写真-4 は、Landsat/(Band4/7) の画像間演算処理で作成したシュードカラーで表示した衛星画像である。この衛星画像では冠水した水田・草地・畑地が白～赤色、雑木林・裸地・建物などが混在した地域が緑混じりの濃紺色に発色しており、白～赤色域の中を蛇行する線形的な濃紺色の個所が自然堤防に対応していると考えられる。本処理で抽出・可視化した線形的な地被状態はカラー合成処理よりも鮮明に強調されており、自然堤防と同じ地被状態を抽出・可視化するには Landsat/(Band4/7) の画像間演算処理が有効であることを確認できた。図-5 は、中川低地の杉戸町遠野付近において蛇行する河跡の Landsat/(Band4/7) 画像と国土地理院発行 1/25000 地形図である。本画像に出力された濃紺色で発色している蛇行する

写真-6 ローム台地を除去した Band (4/7) の2 値化画像

写真-7 写真-6 と寺社分布図との重ね合わせ画像

線形地形は地形図に記されている緑域の「樹木に囲まれた居住地」が示す蛇行する線形地形と良く一致し、自然堤防には樹木や居住地が立地しているという地被状態に基づいて行った自然堤防の判読法が妥当であることを確認できた。

写真-8 衛星画像と寺社分布地図の重ね合わせ画像

写真-9 本研究で判読した河跡⑥の地被状態

4. 自然堤防に沿う旧河道・河跡の判読

衛星データの画像処理で可視化した埼玉平野において畑・果樹園・樹木に囲まれた居住地などが立地する特定の地被状態の線形地形と寺社の立地分布図とのオーバーレイ処理によって作成した重ね合わせ画像を用いて、近世以前に利根川が埼玉平野に残した自然堤防に沿った旧河道および河跡を判読した。

図-6 は、埼玉平野の国土地理院発行 1/25000 地形図に表記されている寺社の位置を赤丸印で示した図である。埼玉平野の沖積低地で激しい変流・分流を繰り返してきた利根川の度重なる洪水によって引きおこされた氾濫は多くの人命を奪い、農作物を奪って飢饉を招いた。信仰深い当時の人々は亡くなった人々の供養と鎮魂・災害軽減・五穀豊穡などを祈って、浸水被害が少なく、交通路が通る高台の自然堤防上に寺社を創建したと思われる。

(1) 自然堤防を判読するプロセス

本論文で行った衛星データの画像処理と埼玉平野における寺社の分布特性とによって利根川の自然堤防を判読するプロセスは、(1)画像間演算処理 (Band4/Band7) と特定情報を強調する2値化処理による自然堤防に立地する

図-7 本研究で抽出した利根川の旧河道・河跡

図-8 参考文献を基に作図した利根川の旧河道・河跡

地被状態の可視化(写真-5 参照)、(2)写真-5 と数値地形地図²³⁾とのオーバーレイ処理によるローム台地の除去(写真-6 参照)、(3)写真-6 と寺社分布図との重ね合わせ画像の作成(写真-7 参照)、(4)寺社が分布している線形的な地被状態を自然堤防として判読、の4段階で行った。

(2) 旧河道・河跡判読の結果

図-7 は、寺社が立地する自然堤防と同じ地被状態の線形的な微地形からトレースした利根川の旧河道および河跡を示した図である。図-8 は、利根川の自然史について記述した文献²⁴⁻²⁸⁾を参考に作図した旧河道・河跡の分布図を示したものである。

a) 旧河道の判読

本論文において寺社が立地する線形地形から判読した自然堤防に沿った河道は既往の文献に示された旧河道とほぼ一致したが、現在の権現堂川に沿って立地する寺社が認められず、これを旧河道と判定することはできなかった。

写真-8 は権現堂川付近を拡大した Landsat/Band (4/7) 画像と寺社の立地分布図との重ね合わせ画像である。画像中央を東西に横切る現状の権現堂川の両岸には寺社の立地を認められず、その下(南側)には寺社が立地した蛇行

写真-10 自然堤防に立地する寺社の創建時期

する自然堤防と思われる地被状態が認められる。既往文献では栗橋付近から南流してきた権現堂川が権現堂集落付近の右岸側から分派して南東に流下する流路の存在を示唆しており²⁹⁾、著者等はこの分派流が権現堂川の跡ではないかと推測している。現在の権現堂川については寛永18年(1641年)に開削した人工河川であるという説もあり³⁰⁾、現況河道と本論文で判読した旧河道との関係については検討の余地がある。

b) 河跡の判読

本論文では幾つかの河跡を判読しているが、既往文献には見当たらない河跡⑤、⑥、⑦、⑨を判読している。これらの河跡と判定した個所を現地調査した結果、いずれも周辺の水田から盛り上がった用水路や小さな水路に沿った周辺より地盤の高い微地形で、自然堤防に立地する地被状態を示していることが分かった。写真-9は、新川から星川に分流したと思われる河跡⑥の現地写真を示したものである。水田より地盤の高いところに樹木に囲まれた居住地や畑が立地している様子が窺える。

表-1 自然堤防に立地する寺社の創建年

旧河道・河跡	調査寺社数	最古の寺社名	創建年
会の川	52	小松神社(羽生市)	726
新川	51	大光院(羽生市)	806
星川	55	諏訪神社(騎西町)	1249
浅間川	27	西条寺(大利根町)	1278
島川	13	残光寺(幸手市)	1574
古利根川	58	常楽寺(久喜市)	807
庄内古川	21	観音寺(幸手市)	1143
合の川	9	慈眼寺(北川辺町)	1382
河跡-①	18	天神社(羽生市)	940
河跡-②	4	八坂神社(北川辺町)	1382
河跡-③	9	東耀寺(大利根町)	1571
河跡-④	6	迎盛院(大利根町)	1039
河跡-⑤	7	福寿院(栗橋町)	1620
河跡-⑥	6	大徳寺(白岡町)	1161
河跡-⑦	4	不詳	不詳
河跡-⑧	18	無量院(幸手市)	806
河跡-⑨	10	妙法寺(幸手市)	1505
河跡-⑩	8	正福寺(幸手市)	1511

5. 利根川の流路変遷に対する時代考証

表-1は、現地踏査および宗教関係の文献³¹⁻³⁶⁾によって調査した利根川や渡良瀬川の旧河道・河跡に沿った自然堤防上に立地している寺社の数(画像に示された範囲内)、場所、最も古い創建時期を示したものである。写真-10は、自然堤防に立地する寺社の創建時期を色別区分して表示

した画像である。自然堤防に立地する寺社の創建時期に基づく利根川の流路変遷に関する知見は、以下のとおりである。(1)会の川～古利根川および会の川から分流して新川～古利根川を経路とする旧利根川の流れは700～900年代に存在した。(2)会の川から分流する河跡①の流れは900年中期～1000年初期に存在した。(3)利根川の行田市岸和田付近から南に分流して元荒川に至る星川の流れは1200年代中期に存在した。(4)浅間川から古利根川に至る

旧利根川の流れは西暦 1200 年代後期に存在した。(5)現利根川の北川辺町から北に分流して合の川を経て渡良瀬川に至る利根川の流れは 1300 年後期に存在した。(6)会の川～島川～河跡⑨～庄内古川を経路とする利根川の流れは 1500 年代後期に存在した。また、河跡⑨は中世における旧渡良瀬川の河跡とされており³⁷⁾、自然堤防上に立地している西暦 806 年創建の寺の存在と矛盾しない。

6. まとめ

これまで、沖積低地における自然堤防の判読には地形図や航空写真が有効的に利用されてきた。航空写真と衛星画像による地被状態に対する判読の基本的な違いは、実体視などによるアナログ的な把握とコンピュータによるデジタル的な把握にあると思われる。自然堤防のような微地形は土地利用と植生との対応関係が極めて良好であるため³⁸⁾、衛星画像を用いてデジタル的に判読することが十分可能であり、さらに地形図などが得にくい地域での調査には衛星画像の利用が有効であることが分かってきた。この他にも、自然堤防に立地する特定の地被状態を機械的に判読・抽出できるという有効性が挙げられる。このような自然堤防の判読に対する衛星リモートセンシングの有効性に加えて、埼玉平野における寺社の立地分布を媒介させることによって、航空写真より解像度が低い衛星画像で判読するデメリットに対処した。沖積低地における自然堤防の分布状態を通じた旧河道の流路変遷を判読した本論文の新規性は、(1)降雨直後に観測した Landsat 画像に可視化した河跡からサンプリングした横断方向の DN データによる分光反射特性の確認、(2)降雨直後に観測した Band4,7 データによる画像間演算処理、2 値化処理、ローム台地を除去するオーバーレイ処理などによる自然堤防が示す地被状態の抽出・可視化、(3)自然堤防の地被抽出画像と寺社分布図のオーバーレイ処理による自然堤防の確認、(4)自然堤防に立地する寺社の創建時期による流路変遷の推定、などの既調査には例のない判読手法の提案にあると思われる。一方、市街地や集落における自然堤防の判読に対しては、寺社の線形分布に基づいてアナログ的に判断している不確定要素を含んでいる。しかしながら、既存の調査研究では見当たらない幾つかの河跡を見出しており、従来の手法ではできなかった判読結果とも考えられる。沖積低地における旧河道や河跡の位置は、洪水氾濫流の道筋や下流における氾濫域の予測や地震時に揺れが増幅する後背湿地との関連、地域計画における安全性の確保などの資料として、防災や都市計画の分野における利用価値は大きい。本論文の成果がこのような分野に活用されることを期待するとともに、本論文で明らかにできなかった五霞町付近における渡良瀬川

の流路変遷に対するさらなる研究を今後の課題としたい。

謝辞: 本研究を進めるにあたって現地および地形を担当した日本大学生産工学部土木工学科の河川・測量研究室の 4 年生、データ整理と画像処理を担当した P.D. の朝香智仁氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本第四紀学会 編：日本第四紀地図解説，pp.3-7，東京大学出版会，1987.
- 2) 羽島兼三，柴崎達雄 編：第四紀，p.103，共立出版，1971.
- 3) 国土地理院：1:25,000 沿岸海域と土地条件図の見方，p.4，1973.
- 4) 埼玉県立歴史資料館 編：埼玉の中世寺院跡・埼玉県教育委員会，pp.91-163，1992.
- 5) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図入門 第一巻，p.288，古今書院，2002.
- 6) 大矢雅彦 編：地形分類の手法と展開，p.87，古今書院，1983.
- 7) 小出 博：日本の河川研究，p.19，東京大学出版会，1982.
- 8) 羽島兼三，柴崎達雄 編：第四紀，p.3，共立出版，1971.
- 9) Umitu, M.: Natural levees and landform evolution in the Bengal Lowland, *Geographical Review of Japan*, 58B, pp.149-164, 1985.
- 10) 藤井壽生，工藤勝輝，岩下圭之，西川 肇：ランドサット TM データを用いた自然堤防の抽出法，地形，第 7 巻・第 2 号，pp.123-135，1986.
- 11) 梅津正倫：沖積低地の古環境学，pp.46-47，古今書院，1994.
- 12) 日本写真測量学会：空中写真の判読と利用-空からの調査-，p.37，鹿島出版会，1980.
- 13) 丸安隆和，淵本正隆：リモートセンシングによる測量設計，pp.117-118，1982.
- 14) 丸安隆和，淵本正隆：リモートセンシングによる測量設計，pp.2-3，1982.
- 15) 資源・環境観測解析センター：新編リモートセンシング用語辞典，p.58，共立出版，1996.
- 16) 吉田東伍：利根川治水論考，刀禰古代(約千年)水脈想定図，日本歴史地理学会，1916.
- 17) 日本の地質編集委員会：関東地方 3，p.138，共立出版，1993.
- 18) 河田 巖：利根川治草考，史学雑誌，4 編 43 号，pp.373-381，1893.
- 19) 本間清利：利根川，pp.69-86，埼玉新聞社，1978.
- 20) 高木幹雄，下田陽久：画像解析ハンドブック，pp.425-444，東京大学出版会，1991.
- 21) 小出 博：日本の河川研究，p.39，東京大学出版会，1972.
- 22) 埼玉懸 編：中川水系-総論・自然，埼玉県，p.39, 1972.
- 23) 産業技術総合研究所：20 万分の 1 数値地質図幅集「関東甲信越および伊豆小笠原諸島」，地質調査総合センター，2004.
- 24) 栗原良助：利根川治水史，p.133，1943.
- 25) 小出 博：日本の河川研究，巻末第 II 図，東京大学出版会，1972.

- 26)多田文雄：自然環境の変貌, p.220, 東京大学出版会, 1964.
27)金井忠夫：利根川の歴史, 近代文芸社, 1999.
28)澤口 宏：利根川東遷, pp.66-67, 上毛出版社, 2000.
29)大熊 孝：利根川治水の変遷と水害, p.27, 東京大学出版会, 2001.
30)河田 熊：利根川治革考, 史学雑誌, 4 編 43 号, pp.373-381, 1893.
31)羽生市教育委員会：羽生領二十一ヶ所めぐり-浄土への祈り-, 1988.
32)埼玉県教育委員会：埼玉の中世寺院跡, 埼玉県立資料館, 1952.
33)埼玉県仏教会：埼玉の中世寺院跡, 埼玉県寺院全集, 千秋社, 2001.
34)埼玉県神社調査団：埼玉の中世寺院跡, 埼玉の神社, 埼玉県神社庁, 1986.
35)産報通信社出版局・大江千尋：埼玉県宗教名鑑, 埼玉新聞社, 1978.
36)猿島郡西葛飾郡神社：寺院明細書, 茨城県歴史館蔵, 1913.
37)金井忠夫：利根川の歴史, 図-43,p.166, 日本図書会, 1997.
38)梅津正倫：沖積低地の古環境学, p.52, 古今書院, 1994.

(2006. 6. 13 受付)

STUDY ON HISTORICAL TRANSITION OF THE TONE RIVER TRACK FEATURING SATELLITE DATA

Hisao FUJII, Hajime NISHIKAWA, Katsuteru KUDO, Kazumasa ITO
Tutomu KONDO, Tetsukazu KIDA and Makoto IMANO

The Tone River has leaved natural levees and back marshes by changed course on a large scale in the Saitama Plains. In this research, the former course of the Tone Rivers were inferred by overlaying processing positional distribution chart of temple and shrines on a visualization image of linear geographic feature on a Saitama Plains. In addition, meandering of the river courses before modern time was examined based on the dates that temple and shrines were established on the Saitama Plains.