

数値地形モデルと衛星リモートセンシングデータを用いた那珂川氾濫原の解析

桑原祐史*, 井上正圭**, 野北舜介***, 小柳武和**

* 茨城大学 工学部 都市システム工学科
茨城県日立市中成沢町4-12-1

** 近畿通信建設株式会社土木事業部
大阪府西区江戸堀3-3-15

*** 都市環境解析ラボ
茨城県日立市水木町2-13-17

概要

防災と環境管理の観点から、広領域を同時にしかも周期的に観測するためには衛星リモートセンシングデータが有用である。河川流域（特に、氾濫原）の自然地形と土地利用を災害前後・多年度にわたり整備しておけば、防災・都市計画を策定する際の参考資料として、また、様々な目的対応型システムでのデータ活用が期待できる。本研究では、平成10年8月に激甚な洪水被害に見舞われた那珂川流域を解析対象として、数値地形モデルおよび衛星データを用いて流域の自然地形、植生および土地利用に関するデータを整備し、氾濫原について考察した。

キーワード

衛星リモートセンシングデータ、数値地形モデル、植生活力

1 はじめに

1998年8月26日から30日にかけて、栃木県と茨城県を中心とする那珂川流域は激しい集中豪雨に見舞われ、水戸市周辺で那珂川本支流が氾濫したことは記憶に新しい。那珂川は、古くから氾濫を繰り返してきた河川であり、建設省を中心とした様々な防災対策が進んでいるにもかかわらず、対策が進行中であった本・支流の合流点での河川氾濫が発生した。現在、建設省を中心として、築堤や支流の閘門整備が進んでいる状況であるが、災害の経緯や氾濫後の復旧の状況把握、また、防災を踏まえた土地利用の高度化を図っていく上で、詳細土地利用状況の把握と土地の有する特性を把握しておくことは重要であろう。本報告では、数値地形モデル(DTM:Digital Terrain Model)と衛星リモートセンシングデータ(以下、衛星データ)を用いて、那珂川氾濫原を対象とした地形・自然環境特性の把握を試みた事例を紹介する。

2 研究の目標

那珂川氾濫原を対象とした本研究の目標は、以下の4点である。

- ①那珂川における過去の氾濫歴を整理し、氾濫域が年代によってどのように変化したのか、その傾向をつかむ。
- ②数値地形モデルを用いて、標高・起伏・開析および日陰図を作成し、氾濫原とその周辺の地形特性を整理する。
- ③衛星データを用いて、土地被覆分類、植生活力(NDVI:Normalized Differential Vegetation Index)、土壌水分(Tasseld Cap変換のWetness)を計算し、氾濫原の自然環境特性を定量的に整理する。
- ④氾濫原とその周辺の土地利用高度化を目指し、解析結果を基礎とした今後の解析項目を整理する。

3 研究の着目点

3.1 那珂川氾濫の歴史

那珂川の水害の歴史は古く、平安時代にもその被害が伝えられている。記録としては江戸時代の慶長年間頃より残っている。藩政時代の慶長7年(1602年)には水位約8.75mの洪水の報告があり、寛文10年(1670年)にも大洪水があったことが報告されている。特筆すべき大災害として、天明6年(1786年)7月15日から18日にかけての水害は、万代橋付近の最高水位が約9.05mに達し、水戸城下町の高台を残して城下町全戸の3分の1にあたる三千戸が水につかったとの記録がある。以降の記録は表-1に譲るが、昭和では13年(1938年)の長雨と台風、同22年(1947年)のカスリーン台風をはじめとして、台風や長雨が原因となり現在までに20回以上も氾濫を繰り返してきた。

3.2 解析に用いた諸データ

(1) 数値地形モデル (DTM: Digital Terrain Model)

本研究で用いた数値地形モデル(以下、DTMと呼ぶ)は、国土地理院発行数値地図50mである。衛星データとの相互関係を解析して必要上、UTM座標系に変換処理(分解能30mに補正)を施した。なお、諸情報の詳細な作成方法は文献1)に譲り、作成概念を表-2に整理した。

解析では、氾濫原の定義が問題となる。この点を考慮に入れて、標高区分を設定した。結論として、水戸市近傍では標高20m未満が衛星データや地形図から判読できる氾濫原とほぼ一致した。領域の局所に注目した場合には、氾濫原を一律な標高で区切ることが適さない場合もあるが、ここでは、数値情報処理の都合上、標高20m未満を氾濫原として以降の説明を進める。

表-1 明治以降の主な那珂川の水害

時期・特筆事項	主 な 被 害
1889年9月	那珂川の平常水位より4.5m上昇。三反田字上瀬の堤防が決壊
1896年9月	青柳での水位7.42m。那珂湊の海門橋、太田街道の那珂川橋、枝川の浜道橋が流出。下町一帯、水戸駅まで浸水
1902年9月	那珂川水位6.24m。水戸で全壊89戸、半壊67戸。農作物の被害甚大。
1910年8月 雨量:195(mm)	青柳で水位7.02m。水戸で床上浸水416戸、床下浸水272戸。枝川で床上浸水66戸、流出家屋3戸。
1911年7月	那珂川千波湖氾濫
1914年8月	那珂川の水位6.3m。枝川で床上浸水70戸、浸水家屋100余戸
1920年5月	大洪水。那珂川水位4.5m
1920年10月	大洪水。那珂川水位5.4m。早戸川氾濫
1938年6月 梅雨前線と台風	水戸浄水場の堤防が決壊し、那珂川の水位は9.0m以上。那珂川大橋は流出し、千歳橋は大破、万代橋は沈んだ。水戸での総雨量は630mm、連続雨量(約60時間)は491.6mm、一日雨量も277mmで記録的な大雨。
1941年7月 台風	計画高水流量を上回る大洪水。青柳の水位8.23m。水戸浄水場付近の水位10.4m。那珂川の水は千波湖に逆流して溢水し、水戸市はほとんどが浸水。水戸の被害は流出32戸、全壊20戸、半壊57戸、床上浸水2478戸。
1947年9月 台風	既往の最高水位・流量を上回る大洪水。水府橋で水位7.8m、野口の水位は6.8m水戸の被害は流出5戸、全壊67戸、半壊18戸、床上浸水1919戸。
1958年9月 台風	水府橋の水位6.53(m)、野口の水位4.14(m)、浸水面積1120(ha)、床上浸水10戸、床下浸水2戸。台風21号による洪水に続いたため、河床が上昇して高水疎通能力が低下し、堤防・護岸および水制などに被害。
1982年9月 台風	那珂川源流に近い三斗小屋で316mmの降雨。水位は水府橋で7.05m、野口で4.00m。床上浸水55戸、床下浸水146戸、浸水面積1020ha。
1986年8月 台風	茨城県全土で記録的な大雨が降り、計画高水位を大きく上回る。県内各観測所で200mm以上の降雨。水位は水府橋で9.15(m)、野口で5.98mの既往最高値。

(2) 衛星リモートセンシングデータ

一般に衛星データの品質は、データの量子化ビット数、地上分解能、スペクトル分解能および観測頻度といったハードウェア面での条件に加えて、「雲とその影、ノイズ、光学的なボケ (blur)」といった観測データ面からの制約に左右される。前者の条件に応ずるデータとして、本研究ではLANDSAT/TMデータを解析データとして選定した。また、後者の条件については、気象条件や観測対象日時を研究対象毎に設定し、それぞれの衛星データを確認して購入した。本研究では、表-3に示すデータを候補としてあげ、雲量等を勘案した結果、水害発生前後の3月16日および10月10日の2時期のデータを購入した。

3.3 導入した解析手法

(1) 数値地形モデル (DTM:Digital Terrain Model) を用いた解析

本研究では、国土地理院発行数値地図50mを内挿変換し、地上対応30mのデータを使用した。このデータサイズの範囲で解析結果の精度が議論される。DTMを用いた解析に関する基礎的数値地理情報の作成方法は、表-2に記述した通りである。また、解析対象は、前述した氾濫原に加えて、平成10年8月の氾濫域を対象とした。氾濫域数値地図は、国土地理院の調査による氾濫域図を基にして、「トレーシング作業→スキャンニング→画像データの2値化」という作業を通じて作成した²⁾。

(2) 衛星リモートセンシングデータを用いた解析

洪水前後のLANDSAT/TMデータを解析対象とした。TMデータは、可視～熱赤外域にまたがる7つの波長帯が観測波長帯として設定されており、波長毎のデータ特性を活かした様々な自然環境を評価するための指標が提案されている³⁾。本研究では、土地利用の高度化を最終目的とすることを鑑み、環境評価に有効であることが確認されている代表的な4つの指標値を計算し、氾濫原および氾濫域内での特徴と地形との相互関係を考察した³⁾⁻⁵⁾。

表-3 購入の候補としたデータの一覧 (1998年を対象)

観測日(月/日)	雲量 (%)	観測日(月/日)	雲量 (%)
1 / 11	91 ~ 100	7 / 22	91 ~ 100
2 / 12	0 ~ 2	8 / 7	91 ~ 100
2 / 28	71 ~ 80	8 / 23	71 ~ 80
3 / 16	31 ~ 40	9 / 8	91 ~ 100
4 / 1	91 ~ 100	9 / 24	91 ~ 100
4 / 17	91 ~ 100	10 / 10	21 ~ 30
5 / 3	91 ~ 100	10 / 26	91 ~ 10
5 / 19	91 ~ 100	11 / 11	71 ~ 80
6 / 4	81 ~ 90	11 / 27	21 ~ 30
6 / 20	61 ~ 70	12 / 13	0 ~ 2
7 / 6	81 ~ 90	12 / 19	51 ~ 60

指標値計算法の概念は次の通りである。

- ①土地被覆分類図：教師付き分類法である最尤法を用いた。分類クラスは、氾濫原を含む水戸市周辺を代表する10項目を選定した。表-4に分類クラスを記述した。
- ②植生活力図：正規化植生指標 (NDVI :Normalized Differential Vegetation Index) を採用した。指標は、葉緑体の反射が大きい近赤外バンド (BAND4)

表-2 数値地形モデルを用いた各種の地形情報作成法

図面名	作成方法および特徴
標高区分図	DTMを標高の幅に応じてランク値化した図面である。大まかな標高分布を確認できる。
起伏量図	地上対応約90(m)四方の最大標高と最小標高の差をランク値化した図面である。局所領域毎の地形の凹凸を確認できる。
開析度図	地上対応約90(m)四方の最大標高を侵食や風化のない原地形と仮定し、同一領域の平均標高がどの程度の割合か、ということを経緯値化した図面である。起伏量図と異なる点は、低地における微妙な地形変化も確認できる所にある。
日陰図	地表面に入射した太陽光が視点方向に反射される量を求め、画像化した図面である。人工構造物が全て無いと仮定した場合の地形の凹凸が可視化される。

と反射が小さい可視バンド(BAND3)との比演算により式(1)のように計算される。

$$NDVI = ((BAND4) - (BAND3)) / ((BAND4) + (BAND3)) \quad \dots \text{式}(1)$$

植生活力が大きい場合には1を取り、植生が存在しない場合には限りなく-1に近づく。本研究では、指標値計算後に8(bit)にデータを再量子化し、画像化した。

- ③土壤水分量推定：Tasseled cap変換のWetnessを用いた。この指標は、土壤水分量との相関があるとの報告がある。氾濫原のような土地を被覆する構造物がない領域での活用が望める。式(2)に計算式を示す。

$$Wetness = 0.1466 \times (BAND1) + 0.1761 \times (BAND2) + 0.322 \times (BAND3) + 0.3996 \times (BAND4) - 0.6210 \times (BAND5) - 0.4186 \times (BAND7) \quad \dots \text{式}(2)$$

- ③幾何構造物推定：Tasseled cap変換のBrightnessを用いた。この指標は、幾何構造物との相関があるとの報告がある指標である。氾濫原のような土地を被覆する構造物がない領域での活用が望める。式(3)に計算式を示す。

$$Brightness = 0.2909 \times (BAND1) + 0.2493 \times (BAND2) + 0.4806 \times (BAND3) + 0.5568 \times (BAND4) + 0.4438 \times (BAND5) + 0.1706 \times (BAND7) \quad \dots \text{式}(3)$$

4 解析結果

(1) 地形特性の解析

写真-1～写真-4に基礎的数値地形情報を示す。写真-1に示す標高区分図に着目すると、標高20m未満の氾濫原内を那珂川が蛇行して流下していることが判る。特に、写真中矢印①を付した水府橋周辺では、極端に流路が蛇行している。また、矢印②に示す水戸市市街地は、低湿地に突出した台地になっていることを示している。写真-2に示す起伏量図に着目すると、氾濫原を挟む形で那珂台地が分布している。籠瀬らの報告では、図-1に示すように河道が矩形状を示しているとの報告がある⁹⁾。ここで、視点のスケールを拡大してみると、水戸市周辺では那珂川そのものが沖積地を流下しているわけではなく台地に挟まれた矩形状の氾濫原形態を取っていることが判る。このことから、許容量を超えた雨水等の流入がある場合には突然の激甚な洪水災害に一带がさらされることとなる。水戸市東部になると、写真-3に示す開析度図からも判るように徐々に河川下流に代表的な沖積地を流下する河川形態を示す。河川流下方向に直行する形で開析度のランクが分布している。写真-4に示す日陰図では、前述の地形的特徴が高低差として直感的に把握できる。

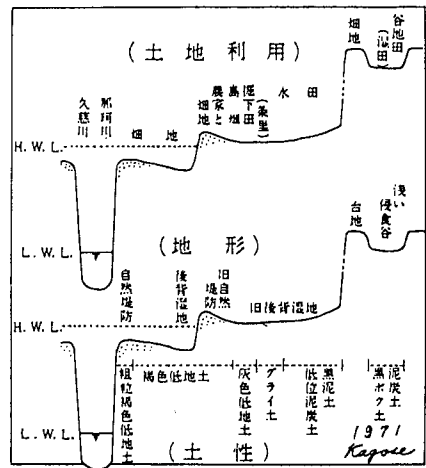


図-1 那珂川の縦断模式図(籠瀬:1990)

表-4 分類項目(10クラス)

CLASS1	工場	CLASS2	砂浜	CLASS3	裸地	CLASS4	耕作地
CLASS5	耕作地	CLASS6	市街地	CLASS7	山林	CLASS8	水域I
CLASS9	水域II	CLASS10	水域III				

(2) 自然環境特性の解析

表-5に、本研究で作成した図面の一覧を示す。このうち、本研究では8つの図面を用いて考察を記述した。写真-5に1998年3月(氾濫前)、写真-6に10月(氾濫後)の土地被覆分類図を示す。また、写真-9に氾濫原の標高区分図、写真-10に氾濫域の標高区分図を示す。なお、土地被覆分類の作成に際して、分類項目は表-4に従った。紙面の都合上、顕著な傾向が伺えた写真-9および写真-10にWetness画像を示す。

①土地被覆分類図に関する考察（全領域）

まず、分類図の作成に先立ち、衛星データ選定については入念に検討したが、採用したデータには薄い雲が分布していた。東西約27km、南北約24kmと比較的広領域を対象としたことから分類図作成にはかなりの労力を要した。雲の影響により、本結果が災害域の把握や防災計画策定時の資料として詳細情報を作成するには耐えないものであり、本研究では激甚災害の危険性が高い本領域の全体的な自然環境特性を把握することに着眼した。

②NDVIおよびBrightnessに関する考察（全領域とその植生域）

土地被覆分類図において、植生域と分類された画素数は、3月において氾濫原の14(%)、10月では6(%)であった。しかし、土地被覆分類図における植生域のNDVIの指標値平均は10月の方が高くなった。また、Brightnessでは氾濫原における顕著な傾向（構造物や人工物）はなかった。

③Wetnessに関する考察（全領域と氾濫原内の水田）

写真-9および写真-10に着目する。10月のデータの主として水田では、3月のデータと比較して水分量が低くなっていることが判った（図中では黒く表示）。一方、今回の水害において氾濫が生じた地域の近傍では水分量が高いと判断できる。この解析結果が洪水による傾向であると断定できないが、氾濫域に隣接しており、少なくとも何らかの影響があるであろうことは示唆されている。

5 まとめ

本研究の成果は、以下の2点である。

①那珂川水害調査結果を整理し、数値地形モデルを用いた地形特性の解析および衛星データを用いた自然環境特性を解析した。

②那珂川氾濫原を対象とした基礎的な数値地形情報を整備するとともに、可視データを用いて土壌水分量から氾濫域図を作成できる可能性を確認した。

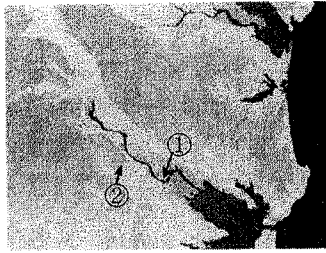
天候に依存する激甚災害の発生は、雲や噴煙等、大気の外乱影響を受けることが多い。光学センサのデータを用いる場合には、問題解決のために大気補正による精度向上が必要である。また、雲等の透過特性を有する衛星搭載SARデータの利用が推奨される。今後、これらの補正やデータを用いた解析を予定している。

表-5 本研究で作成した図面一覧

衛星データより作成した各種図面	土地被覆分類図(1998年3月,10月)	2 図面
	植生指標図(1998年3月,10月)	2 図面
	wetness画像(1998年3月,10月)	2 図面
	Brightness画像(1998年3月,10月)	2 図面
DTMより作成した基礎的な数値地形情報	標高区分図	1 図面
	起伏量図	1 図面
	開析度図	1 図面
	日陰図	1 図面
氾濫原図		1 図面
氾濫原抽出画像	衛星データ, DTMを用いた全図面	12 図面
氾濫域図		1 図面
氾濫域抽出画像	衛星データ, DTMを用いた全図面	12 図面

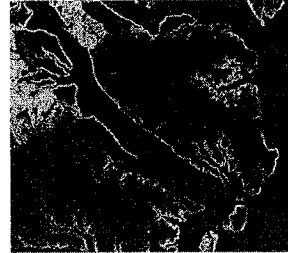
【参考文献】

- 1) 野上道男・杉浦芳夫：数理地理学演習、古今書院、1986年
- 2) 桑原祐史・野北舜介：背景情報処理を導入した図面情報数値化システムの構築、(社)土木情報システム論文集、Vol.6、pp.1-8、1997年
- 3) 高木幹雄・下田陽久：画像解析ハンドブック、東京大学出版会、1993年
- 4) 桑原祐史・志摩邦雄・野北舜介・三村信男：日立市の森林環境の監視における衛星リモートセンシングデータの適用例、(社)環境情報科学論文集、Vol.9、pp.79-84、1995年
- 5) 多田光男・盛永昌二郎・大北由季子・緒方純俊：産業開発にともなう水島・児島地区の海岸線及び土地被覆変化の時系列観察、(社)日本リモートセンシング学会論文誌、Vol.15、No.3、pp.58-65、1995年
- 6) 龍瀬良明：自然堤防の諸類型-河岸平野と水害-、古今書院、1990年



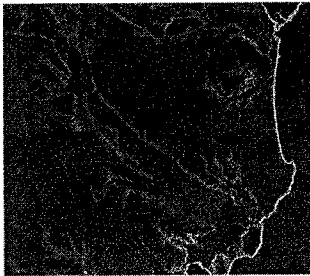
凡例	以上～未満(m)	
	0～1	23～25
	1～2	25～30
	2～3	30～35
	3～4	35～40
	4～5	40～45
	5～6	45～50
	6～7	50～55
	7～8	55～60
	8～9	60～65
	9～10	65～70
	10～11	70～75
	11～15	75～80
	15～20	80～85

写真-1 標高区分図



凡例	以上～未満(m)
	0～5
	5～10
	10～15
	15～20
	20～25
	25～30
	30～35
	35～40
	40～45
	45～50
	50～55

写真-2 起伏量図



凡例	以上～未満
	0～0.1
	0.1～0.2
	0.2～0.3
	0.3～0.4
	0.4～0.5
	0.5～0.6
	0.6～0.7
	0.7～0.8
	0.8～0.9

写真-3 開析度図

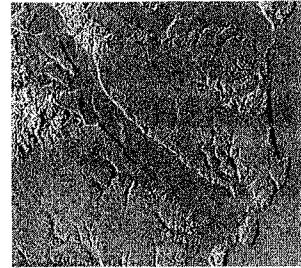
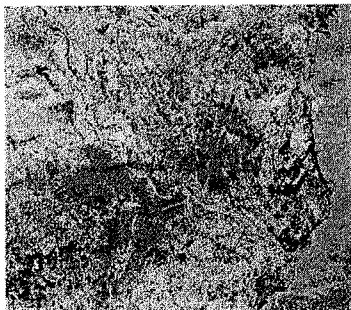
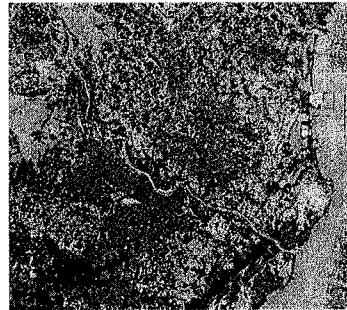


写真-4 日陰図



凡例	
	工場
	砂浜
	裸地
	耕作地①
	耕作地②
	市街地
	山林
	水域①
	水域②
	水域③

写真-5 土地被覆分類図(1998年3月: 氾濫前)



凡例	
	工場
	砂浜
	裸地
	耕作地①
	耕作地②
	市街地
	山林
	水域①
	水域②
	水域③

写真-6 土地被覆分類図(1998年10月: 氾濫後)



写真-7 氾濫原の標高区分図

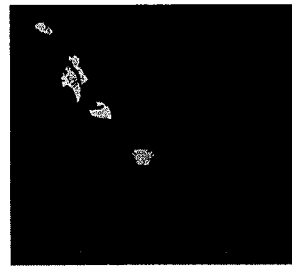


写真-8 氾濫域の標高区分図

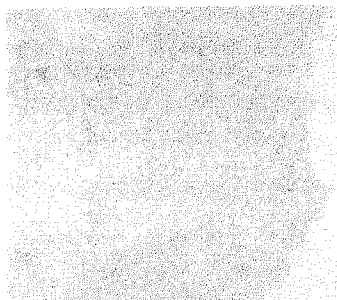


写真-9 Wetness (1998年3月: 氾濫前)



写真-10 Wetness (1998年10月: 氾濫後)