

## リモートセンシングによる松江・宍道湖の自然環境解析

Analysis of Natural Environment of Matsue City, the Lake Sinji  
and its Surrounding Area by Remote Sensing

金子大二郎\*・日野幹雄\*\*

By Daijiro KANEKO and Mikio HINO

Recently, evaluation of environment involving so many factors is required in relation to the global environmental problems. Prospective means of Remote Sensing for environmental investigation are applied herein from such three points of view; Vegetation Index is related to run-off and evapotranspiration using the corresponding data of the National Digital Land Information, Heat-island phenomena is mitigated by the existence of vegetation or water surface, and pattern of lake current is analyzed by turbid water flown into the lake, applying MOS-1 image.

Keywords: Remote Sensing, Vegetation Index, Heat-island, Lake current

### 1. まえがき

近年、環境問題のスケールの拡大に伴いその要因が多項目に及び、影響評価の総合化の必要が生じて来た。また、地球の温暖化に関連し、個々の流域レベルでの評価の必要性も指摘されている。環境汚染の一側面である湖沼の富栄養化の問題は、後背地である流域からの流入負荷が支配的要因の一つであることも重要である。さらには、地域問題となっている水資源不足と集中豪雨の解決のためには、広域的立場からの研究アプローチが必要となる。<sup>1)</sup> これらの事情を背景に、広域的調査法であるリモートセンシングと国土数値情報により、松江・宍道湖周辺の水文循環に及ぼす森林植生、都市のヒートアイランドに関係する熱環境（蒸発散）、湖の水質環境の面について自然環境の現状評価と手法を広域的・総合的に報告する。

リモートセンシングは、流出解析に応用されつつあり<sup>2)</sup>、また、植物指標は既に実用、研究ともに広く用いられ、流出解析にも用いられ始めた。<sup>3)</sup> 一方、可視域のリモートセンシングは、湖沼汚濁の問題へも各波長帯の係数値とchl. a, SSとの対応の立場から研究されている。<sup>4)</sup> また、熱分布も広域蒸発散のために応用されようとしている。<sup>5)</sup> しかし、未だ衛星リモートセンシングの水理学的応用例は少なく、湖沼の流況解析への応用例も乏しい。島根県の松江周辺は景観に優れ、研究対象地域として地形変化に富み、現象を豊富に含んだ地域である。大山隠

\* 正会員 工修 松江工業高等専門学校助教授 土木工学科  
(〒690 島根県松江市西生馬町14-4)

\*\* 正会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科  
(〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)

岐国立公園の一部である島根半島の環境の保全と、水資源としての夏季の上水道・かんがい用水不足、新たに湖沼法の適用を受けた宍道湖・中海の水質保全問題等の地域問題をかかえている背景に、リモートセンシングによる自然環境の総合的な研究手法を報告する。

## 2. 地域の概況

松江・宍道湖周辺は、水文学的には図-1に示す流域面積2070km<sup>2</sup>、流路長153kmの一級河川斐伊川水系に大半が属す。水系中の宍道湖、中海の面積は、それぞれ80.3km<sup>2</sup>、88.7km<sup>2</sup>平均水深4.5m、5.4mの浅い汽水湖である。島根県松江地方一帯の地形的概観を得るために周辺の鳥瞰図を描く。国土数値情報の標高データを斐伊川水系全域を含むよう程度1°、緯度40°の範囲について格子網(80x80)の約1kmメッシュを作成し、北の日本海側より立体視した結果が図-2である。図の下側より上方に向って島根半島、宍道湖、中海、1200m級の分水嶺を持つ中国山脈の地形である。本研究でLANDSAT TM画像の解析対象とした宍道湖・中海周辺一帯は、松江、出雲、米子、境港市等に囲まれた山陰地方の中心地である。これらの都市の人口は12~13万又は3万前後であり、その市街周辺には田畑が広がり、湖岸に迫った山地一帯はクロマツの二次林とスギの人工林、サザナギ等の植生が広がっている。

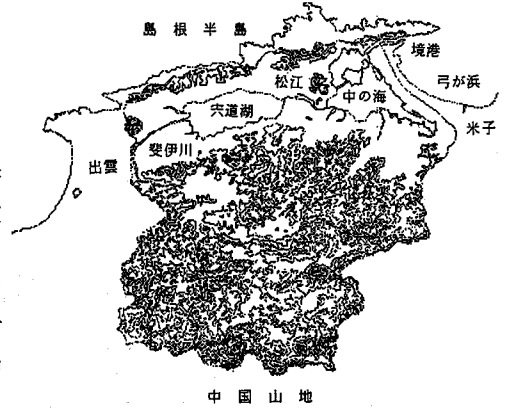


図-1 斐伊川水系

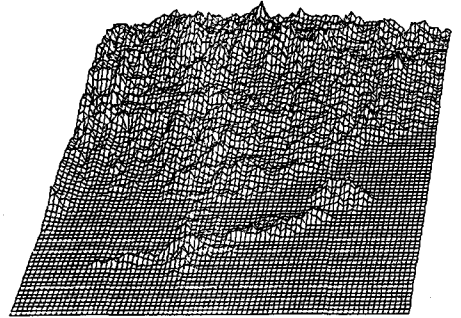


図-2 地域の鳥瞰図

## 3. LANDSATとMOS-1から観た地域の特徴

### 3.1 可視・赤外画像の数値特性

MOS-1の測得日1987年8月11日の7時より、松江宍道湖の周辺を切り出した後、MOS-1 MESSRによる可視Band2(波長0.61~0.69μm、汚染、土地利用などの指標)の計数特性を出雲地方全域について、横断方向の数値を立体視した結果が図-3である。図-2の標高鳥瞰図に合わせ、北側にある日本海から

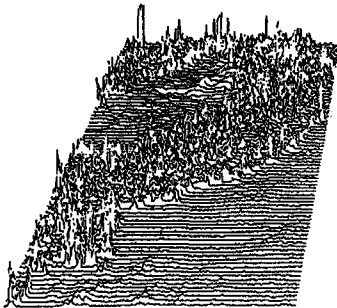


図-3 MOS-1 MESSR可視Band2特性

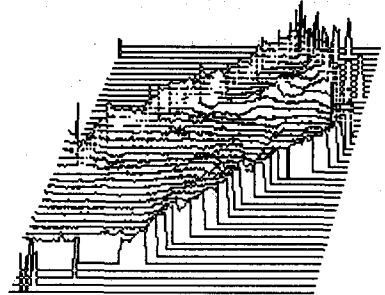


図-4 宍道湖 MESSR band2

南方面を立体視している。水域での変動幅が小さく、陸域では地物の変化に対応し、鋭く変化している特性を容易に認めることが出来る。

次に、環境問題議論の盛んな水域に着目し、MOS-1によって宍道湖上について水質情報の多いch2の計

数値を立体視した結果が図-4である。図の「パター」から理解できる様に湖岸での数値が高く、これは既に指摘されている湖底からの反射光が感知されていることを意味し、水深が深くなると水質情報に変わる。1987年8月11日のMOS-1 MESSRは、感度が High Gainのため湖面上にも計数値の変化が顕著に認めれる。この数値変化を等値線表示した結果が図-5である。湖岸での水深変化を示す等値線の高密化と、穴道湖の西端にある斐伊川から穴道湖に流す河川水が、東南東方向に流れている流況を知ることができる。

### 3・2 地域の熱的特徴

TM Band6の熱赤外による地域の温度分布を写真-1 に示す。顕著に温度が高い地区は、砂質土壌であり裸地に近く蒸発散の少ない畑の弓ヶ浜と、小規模ながら都市の「トイト」となっている松江・出雲平田等の都市域である。水域が最も低く次いで蒸発散の潜熱による森林部である。また、弓ヶ浜全域が顕著に高温となっており、且つその周囲が陸域に比べて温度の低い水面である。この温度差は約15℃であり、それによる海陸風が発生していると見られる。

図-6に、LANDSAT-TMの熱赤外を示すch6と植生を示す特徴を持つch4の相関を示す。森林や田ではch6値は低く、砂質土の裸地に近い弓ヶ浜の畑が高温となっている。但し図-6でみる様に、中海を日本海から遮る弓ヶ浜で近赤外ch4の数値が大きい。その原因は、植生のためでは無く裸地に近いために反射率の影響と考える。物理的意味をより詳しく知るために、正規化植生指標  $NVI = (ch4 - ch3) / (ch3 + ch4)$  と温度との関係を調べると、図-7となる。陸域とは熱の伝達と貯留の異なる水面を除き、植生指標は蒸発散の観点から水面に近い性質を持つ森林で最も温度が低く、土地利用が進んだ市街になるにつれ温度が上昇し、NVIと逆相関となっている。NVIの小さい畑が高温となり、図-6よりも分布を物理的に明瞭に理解することができる。

### 4. LANDSAT TMと国土数値情報による植生特性

前節で述べた様に、地域の熱的特性や蒸発散、流出解析等の面から水文学に関連の深い森林に注目しながら、国土数値情報により立体表示した結果が、写真-2である。森林は、穴道湖西岸の出雲平野と一部の沖積平野を除く全域に広がっている。

植生指標と標高の関係を、国土数値情報の土地利用データを用い図-8に森林のみの土地利用分類について整理した。標高の低い地区の植生指標がやや小さく、標高が高くなると共に植生指標が増大する傾向が認められる。標

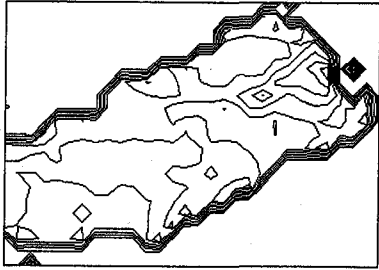


図-5 穴道湖 Band 21データ図

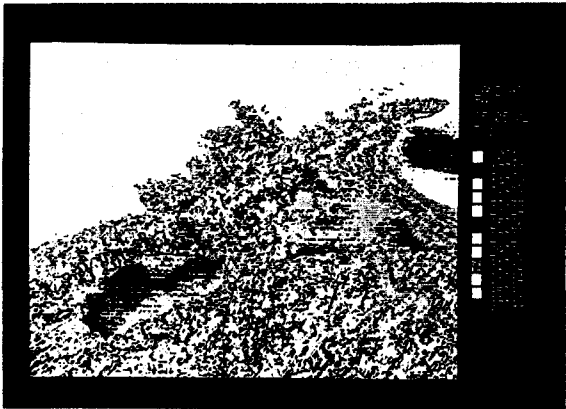


写真-1 地域の熱分布

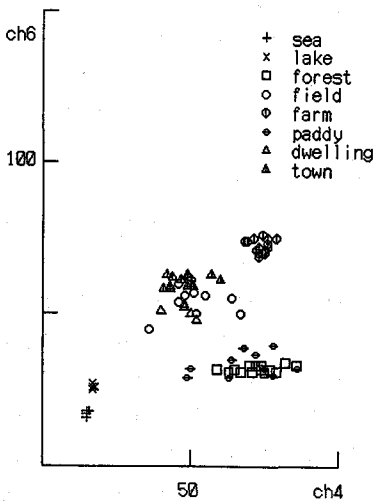


図-6 近赤外ch4と赤外ch6との相関

高の増大と共に植生指標が増加する原因は、高地の方が樹齢の高い密な森林であるためと考えられる。図-9に、森林記号の大小によって植生指標を表示しながら、森林の分布を示した。森林域の外縁で植生指標が小さく、森林域奥部で植生指標が高い。この指標につき、後段の気候緩和との関係を見るためにTMによる温度

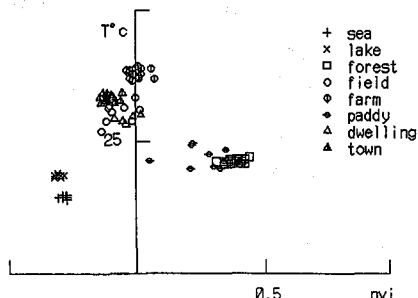


図-7 植生指標と温度との相関

との相関をとった結果が図-10, 11である。森林の温度が住宅地よりも低く、植生指標の増大と共に表面温度がやや低下していることを確認することができる。

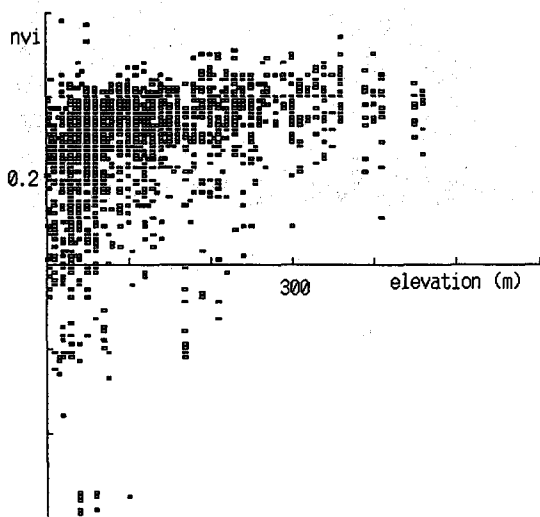


図-8 森林の植生指標と標高の相関

## 5. 水面・植生による松江の気候緩和

対象地域を気候的観点から眺めた時、松江地方は日本海に近く、また東西に宍道湖・中海に挟まれていると共に南北に広い森林が広がっているため、都市環境計画の面では理想的な配置であり、松江市のヒートアイランド現象を緩和していると考えられる。これを検討するため、松江市周辺におけるLANDSATと同日の気温

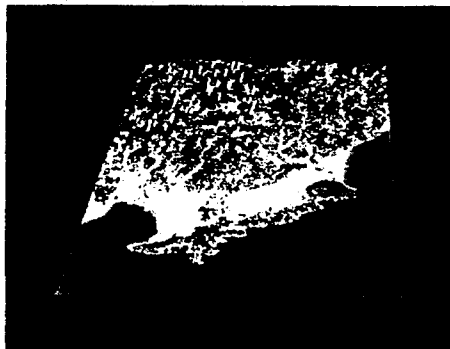


写真-2 地域の土地利用の立体視



図-9 森林の分布と植生指標

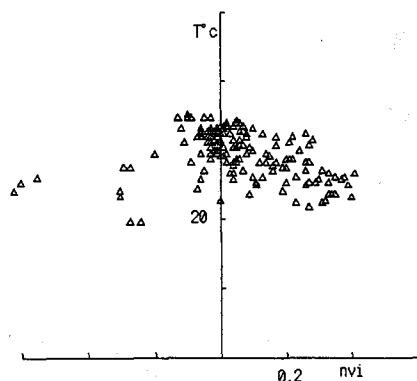


図-10 植生指標と温度との相関（住宅）

の時間変化を、海岸部・都市・山間部そして湖の風上・風下とを比較しながら、AMeDASのデータによって図-12に示した。風条件は西の風、風速数m/s以内である。図を見ると、海岸部である出雲・浜田では海風のため気温が低く、また山間部の掛合・横田では日中の温度上昇が顕著である。風速が低い条件では松江市は風上に宍道湖を配置していても、風上の出雲空港測候所の気温に対し気温緩和の効果があまり認められない。しかし、風速が増大している12時以後では気温が低下している。このことから風が弱い場合には移流の効果が少なく、地上気温は水面や森林の緩和効果よりも観測点近辺の都市部 ヒートアイランド現象に支配されていると考えられる。このため、快適な熱的都市環境にするためには、現在の松江市の様な市中心部の高密度の市街化都市内部に、植生を混在させる都市計画が一般に必要となろう。

6. MOS-1画像と宍道湖の湖流解析

陸域と相対する水域についても、リモートセンシングデータに情報が含まれていることを既に図-4、5で述べた。この図に示された斐伊川から宍道湖へ流入する当日約100m<sup>3</sup>/sの濁水を介して、MOS-1 MESSR による宍道湖の流況を解釈するために、建設省出雲工事事務所の湖心観測所における塩素aの濃度データ図-13を参考にしながら、二層湖流モデルを適用する。宍道湖底層部には日本海からの海水が流入し塩分成層化しているため、成層厚を変数とする二層モデルを用いる。

MOS-1の風条件に合わせ、風向ESE、3m/sの風が湖上に一様に吹送した場合についてモデルシミュレーションを行った。上層水は湖形に沿う流れが湖の中央で反流し、下層は一様に風上側へ流れる結果となっている。この流速ベクトル図をMOS-1の画像と比較すると、画像中に示される斐伊川の河川水が、風向とは逆に風上側へ長く延びており、湖の中央部の反流によって移流されていると解釈することができ、モデルシミュレーションとMOS-1画像の流況は一致していると考えられる。宍道湖・中海の公共水域では、定期的

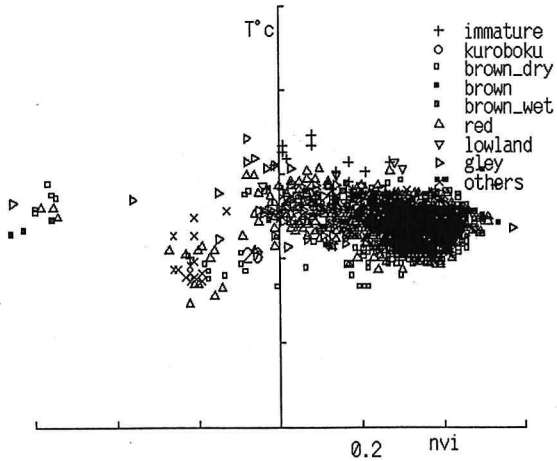


図-11 植生指標と温度との相関（森林）

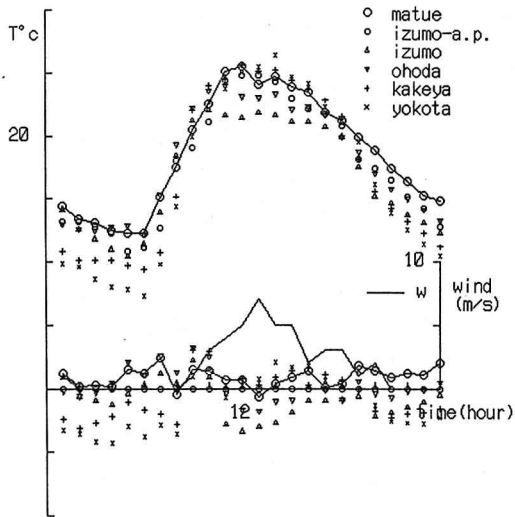


図-12 水面・植生による気候緩和

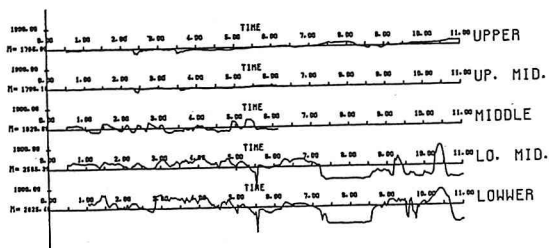


図-13 宍道湖塩素aの濃度経日変化

な水質観測が年間に亘って県庁・建設省を中心に実施されているため、MOS-1観測日前後のSSデータは上下層について整理した結果が図-16である。観測日がMOS-1とずれるため厳密な比較はできないが、SS値の斐伊川河口側、特に下層が高い原因はこの濁水による影響の名残と考えられる。

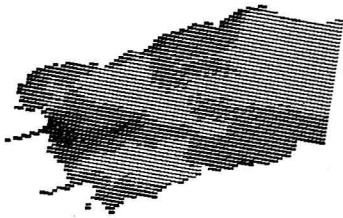


図-14 MESSRによる斐伊川の流入水

## 7. おわりに

広域的な水文・都市環境・水質の立場からリモートセンシングによって観た松江・宍道湖の自然環境の解析手法とそれによる現状評価を報告した。結論を整理すると

- (1) 植生指標と地表温度の関係は、土地利用・地表被覆状態により大きく異なる。植生の場合には、植生指標の増大と共に地表温度の低下を確認することができた。
- (2) 植生指標と標高の関係を土地利用をパラメータとして示した。森林については5月の季節の数m以下の地域条件では、植生指標は標高と共に増加の傾向が認められる。
- (3) MOS-1画像に現れた河川水をトレースとして、宍道湖の湖流パターンを知る事ができ、二層湖流シミュレーションによって解釈する事ができた。
- (4) 大規模な湖面及び森林にも拘らず、特に低風速では都市のヒートアイランド現象は、気候緩和効果を上回りやすく、市街に植生・水面を混在させる必要性が示唆された。リモートセンシングによる地表の温度によれば微風下では気候緩和の傾向が明瞭でない。
- (5) 可視赤外帯のMOS-1 MESSRとLANDSAT TMデータについて、立体視の手法により視覚的に数値特性を、陸域・水域について示した。

謝辞： LANDSAT TM及びMOS-1 MESSRのデータは宇宙開発事業団より、国土数値情報は国土地理院より購入した。湖心水質データは建設省出雲工事事務所より、また宍道湖・中海の公共水域測定結果は島根県庁環境保全課；衛生公害研究所、AMeDASデータは松江気象台より提供を受けた。ここに関係者の方々に謝意を表します。

参考文献： 1) AA.VAN DE GRIEND and E.T. ENGMAN(1985): Partial area hydrology and remote sensing, Journal of Hydrology, Vol. 81, pp211-251

2) 沢本正樹・藤本美樹子(1990): 衛星データと国土数値情報を用いた流域データベースの設計, 水工学論文集, 第34巻, pp619~624

3) 青山定敬・三浦晃・西川肇・村井宏(1990), 土木学会第45回年次学術講演会, pp174~175

4) 石山隆・立本英機・土屋清・村田幸子(1989): 衛星データを用いた印ば沼のクロフィル評価, 日本リモートセンシング学会, 第9回学術講演会論文集, pp103~104

5) 内田諭・星仰(1989): ランドサットおよび国土数値情報標高データを用いた広域蒸発散量の算定, 写真測量とリモートセンシング, vol. 26, No4, pp13~23

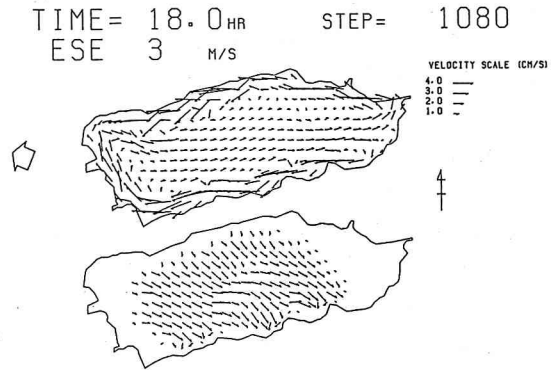


図-15 宍道湖二層シミュレーション(ESE3m/S)

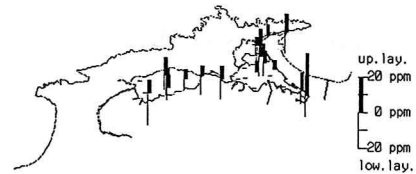


図-16 公共水域SS測定値分布