シルダリア下流域における植物群落の類型化および分光反射率による植生の定量的評価の検討

堀川真弘¹⁾・守村敦郎²⁾・前中久行¹⁾・森本幸裕³⁾・石田紀郎⁴⁾

1) 大阪府立大学農学生命科学研究科 Grad. Sch. of Agri. and Bio., Sci., Osaka Pref. Univ. hori@envi.osakafu-u.ac.jp, maenaka@envi.osakafu-u.ac.jp

2) 人間環境大学人間環境学部 Fac. of Human Environ. Univ. Human Environ. morimura@uhe.ac.jp

3) 京都大学大学院地球環境学堂 Fac. of Agri., Kyoto Univ. ymo@kais.kyoto-u.ac.jp

4) 市民環境研究所 People's Institute of Environ.

摘要: 多様な植物群落が成立するシルダリア下流域および旧湖底域において、植物群落調査および土壌調査に基づき、多変量解析およびクラスター分類により植物群落の類型化をおこなった。21種類の分類結果に基づき、LandsatETM+を用いて最尤法で教師付分類を行い、土地被覆分類画像を得た。また2002年、2003年夏季に分類群落毎に分光反射率、地上部現存量、同化部現存量、LAIの測定を行い、分光反射率より計算されるNDVI、TSAVIと各植生量との相関を比べ定量的評価の検討をおこなった。その結果、分類画像においてヨシ群落にはNDVIからLAIへの回帰式を、その他の群落ではTSAVIからの回帰式の適用が最も精度が高く、本地域の植生の定量的評価に最も適していることが明らかとなった。

キーワード: アラル海, シルダリア, 植物群落, 類型化, 分光反射率, 植生指数, NDVI, ESAVI, バイオマス

HORIKAWA, Masahiro, MORIMURA, Atuso, MAENAKA, Hisayuki, MORIMOTO, Yukihiro, and ISHIDA, Norio : **Study on classification of vegetation and quantitative evaluation in lower Syr-darya region Kazakhstan.**

Abstract : Many types of vegetation were located on dried bottom of Aral Sea and lower syr-darya region by shrinkage of Aral Sea. Based on floristic composition and soil investigation, vegetation was classified by using multivariate and cluster analysis. Based on the classification, spectral reflectance, biomass, LAI and plant coverage were measured on each type of vegetation at summer, 2002 and 2003. We examined quantitative factors to apply satellite image by comparing with correlations between each factor and vegetation indices, NDVI and TSAVI which were calculated from each site of spectral reflectance. As a result, it was found that estimation of LAI from NDVI and TSAVI improve the precision of vegetation quantity in this region.

Key words : Aral Sea, Syr-darya, vegetation, classification, spectral reflectance, vegetation index, NDVI, TSAVI, biomass

1. はじめに

中央アジアの西部に位置するアラル海およびその周辺地域は、年降水量163 mm, 平均気温が10.3 °C⁵⁾の乾燥地域である。本地域では1950年代より始まる旧ソビエト連邦の自然大改造計画により、アラル海に流入するアムダリア、シルダリアの流域に大規模な灌漑農地が開拓され、綿花や水稻栽培のために両河川水が大量に取水され続けている⁶⁾。これにより内陸閉鎖湖であるアラル海は縮小を始め、2004年時点で1/4まで縮小している(図・1右上図)。このような乾燥地域における水域の減少やそれに伴う大規模な環境変動により、乾燥化に伴う砂漠化や湿地帯の衰退が報告されている^{3,9,12,13)}。一方、

干上がった湖底域においては新たな植生の侵入と遷移が生じ、様々な植物群落が発達している^{2,7)}。このような場所において植物群落の分布や変遷を明らかにするには、衛星リモートセンシングが最も有用であり、土地被覆の分類や植生量の推定が可能である。しかし本地域でのこれまでの植物群落の分類は気候、土壌、植物種、地形など、景観を定性的に判断した土地被覆分類であり¹¹⁾、また地上の物体とその地面の情報である衛星画像での分類に即したのではない。また広域的な群落の分布や植生量は定量的に評価されていない。よって本研究では、アラル海旧湖底域およびシルダリア下流を対象として、現地での植物群落調査と土壌調査に基づき多変量解析による土地被覆タイプの類型化を行った。また分類された凡

図-1 研究対象地域および調査地点 (1999～2003年)

Fig. 1 Study area and research site (1999 to 2003).

例に基づきLandsatETM+ (以下LSETM+) 画像を用いて教師付分類をおこなった。植生量の推定にあたっては、現地測定による分光反射率と植生量の指標より相関を検討しLSETM+画像での定量化指標の検討をおこなった。

2. 調査地の概要

現地調査はアラル海に流入する現在唯一の河川であるシルダリア下流域およびアラル海旧湖底域 ($45^{\circ}35' \sim 46^{\circ}50'N$, $60^{\circ}40' \sim 62^{\circ}05'E$) で行った (図-1)。本地域はシルダリア流域の灌漑農業地域であるカザリンスク地区より下流の地域であり、上中流域で取水された後に最終的に流下する地域である。アラル海の縮小以前より陸であった地域においてはク科ヨモギ属の *Artemisia terrae-albae* や *Anabasis salsa* などが優占し、河川や運河、小湖沼周辺にはヨシ (*Phragmites australis*) やヤナギ (*Salix* sp.) が優占する湿地帯が形成されている。塩性の強い土壌には、主にアカザ科の植物 (*Halocnemum strobilaceum*, *Halostachys caspica*) やタマリスク (*Tamarix* spp. 以後 *Tamarix* と記載) が優占した群落形成される。また砂地においては、タ

デ科の *Calligonum* spp., マメ科の *Erimosparton aphyllum* といった植物が優占する群落形成されている。また干上がった湖底では、単なる塩分の高い砂漠ではなく、植物の侵入と遷移が見られ、アカザ科の *Salicornia europaea*, *Suaeda* spp.などの植物の侵入に始まり、*Petrosimonia triandra*群落、塩生植物群落、砂地植物群落、*Tamarix*群落へと時間の経過と共に遷移が生じていることが報告されている^{2,14)}。湖の縮小により南北に分断されたアラル海の結節点では、北側のアラル海の保存と水位安定に向けたダム建設が1993年、96年、97年に行われ、デルタ上流部にも小規模ダムの建設が行われている。しかし、いずれも崩壊しており、人為的変動が激しい地域である⁴⁾。

3. 調査方法

1999年9月、2000年8月、2001年8月において対象地域の植物群落調査のために93箇所て群落調査をおこなった。調査においては相親的に同じと考えられる場所において、植物種の記録と目視による各種の植被率の記載を行った。植物種の同定については確認のために標本の採取を行い、カザフスタン科学アカデミー植物学研究所の研究者によって同定されている。土壌タイプについてはPachikin(2002)の分類¹⁰⁾に従い、表層土壌の色、粒径、生育植物種、土壌断面構造より分類を行った。対象地域で確認された土壌タイプはBowrn desert soil (砂漠・ステップの褐色土), Grey brown desert soil (砂漠の灰褐色土), Boggy soil (湿性土), Solonchak (白色アルカリ土), Sand (砂), Takyr (タキール土壌), Takyr like soil (タキール性土壌), Seaside solonchak (アラル海湖底のSolonchak), 塩類集積地の9タイプであった。群落調査より得られた93地点82種の植被率データより植物群落の分類を試みた。1地点しか出ていない種や被度が極小なものを省き、主要な22種の植被率の値を逆正弦変換したのちCA (Correspondence Analysis) によって解析を行った。さらにCAより得られた2つの変数を用いてクラスター分類 (群平均法, 平方距離) をおこない種の序列化をおこなった上で、双方の結果より種のグループ化をおこなった。さらに各グループを構成する種が高い優占度 (植被率90%以上) で出現する地点が存在するため、それら指標種として検討を行った後、成立する土壌タイプの組み合わせより対象地域の植物群落 (土地被覆) の分類をおこなった。この分類された類型に基づき、2002年8月に調査を行い、LSETM+の解像度の30 mメッシュより広く均一な地点 (最低100 m以上) 47地点をグランドトゥールースとして同年8月5日のLSETM+画像の教師付分類 (最尤法) をおこなった。この分類画像の分類精度の検証にあたっては、調査中に植生や土壌が均一な地点において優占植物と土壌の確認を行い、後の確認を容易にするためにGPSカメラ (Konica Land Master) を用いて記録を行った。優占植物の種構成より植

生の凡例の判別が可能な写真および土壌調査時と表層が同じと判断可能な写真の位置情報より画像上の地点の抽出を行った。またLSETM+画像上で類型が判別可能な地点 (Takyr, 水域, 塩類集積地など) を抽出し, 選定した合計638地点と同地点の分類画像上のピクセルとの凡例との適合割合より精度検証を行った。

2002年7~8月, 2003年7月における現地調査では, 上記分類結果に基づき, 各類型の植物群落32地点において分光反射率の測定を行った (ADS社製, Field Spec HandHeld, 測定波長域325~1075 nm, スペクトル分解能3.5 nm)。また定量的な植生量の物理量の指標として, 測定対象面の地上部の刈り取りを行い, また葉面積指数 (Leaf Area Index: 以下 LAI) を刈り取った同化部より実測で測定をおこなった。これらは風乾したのち, アルマティの科学アカデミー土壌学研究所において乾燥機に24時間保存し, それぞれの地上部現存量と同下部現存量の乾燥重量の測定をおこなった。

測定を行った各地点での分光反射率曲線よりLSETM+のBand3(赤色域 R: 630-690 nm)とBand4 (近赤外域 NIR: 760-900 nm) に相当する反射率から植生指数NDVI (正規化植生指数: Normalized differenced vegetation index) および土壌面の反射を考慮したTSAVI (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index) ¹⁾の算出を次式より行った。

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

$$TSAVI = a \cdot (NIR - a \cdot R \cdot b) / \{a \cdot NIR + r \cdot a \cdot b + X \cdot (1 + a^2)\}$$

a, b : Soil line のパラメータ, X: 0.08

TSAVIに必要なSoil Lineの算出は現地において, 400 ccの土壌サンプラーに表層構造を壊さないように注意しながら採取し, 水分条件を絶乾, 風乾, 5%, 10%に調整して分光反射率の測定を行い, 横軸に赤色域の反射率, 縦軸に近赤外の反射率を取り直線回帰を行うことで得られる直線である。得られたラインの係数aと切片bのパラメータよりTSAVIの計算をおこなった。得られたNDVIおよびTSAVIと, 地上部と, 同化部の現存量 (乾燥重量) およびLAIとの関係式を作成し, 相関係数の最も高い定量化指標の検討をおこなった。

4. 結果および考察

4.1 対象地域の土地被覆類型

CAとクラスター分類の結果より, 植物群落は大きく5つのグループに分類された (以後グループはI~Vで記載) (図・2)。IからVに属する22種の植物のCA結果の分布に着目すると (図・3), Iのヨシ (*P. australis*) は河畔やデルタ, 湖沼周辺といった河川の氾濫が生じる場所や地下水位が高い等, 土壌水分条件が良好で, 塩分の少ない場所に成立する植物である¹¹⁾。IIの植物はBrown desert soil上に主に見られる *A. terrae-albae*, *Anabasis aphylla*, *Carex* sp., *Ceratocarpus arenarius*とGray brown desert soil上に生育する *A. salsa*, 砂地に主に見られる *Calligonum* sp., *E.*

図・2 クラスター分類による種の分類結果 (群平均法, 平方距離)

Fig. 2 Cluster Analysis of species.

aphyllum, アカザ科の *Kochia prostrata* である。これらの植物は本地域においてアラル海の縮小以前より陸であった地下水位の低い地域に優占し, 春季の降水に依存して生活する気候的極相群落を構成する種である¹¹⁾。IIIの植物はアラル海が干上がって間もない, 湿塩性の土壌に最初に侵入するアカ

図・3 CAによる第一軸第二軸における植物種の配置。図中のグループ化はクラスター分類結果も加味し, グループの記号は図・2の記号と一致している。

Fig. 3 Grouping of in the first and the second axis of CA, which was also based on the result of cluster analysis. Roman numerals for grouping were the same as those in Fig. 2.

表-1 対象地域の土地被覆分類結果

Table 1 Classification of land surface type of study area.

グループ	土地被覆類型	優占種	土壌タイプ
I	1 ヨシ群落	<i>Phragmites australis</i>	Boggy soil
	2 砂地植物群落	<i>Caligonum</i> sp., <i>Erimosparton aphyllum</i>	Sand
	3 降水依存型植物群落 (1)	<i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>Anabasis aphylla</i> , <i>Carex sp.</i> , <i>Ephedra</i> sp., <i>Kochia prostrata</i>	Brown desert soil
II	4 降水依存型植物群落 (2)	<i>Anabasis salsa</i> , <i>Carex sp.</i> , <i>Ceratocarpus arenarius</i>	Glav brown desert soil
	5 塩生植物群落	<i>Halocnemum strobilaceum</i> , <i>Halostachys caspica</i>	Solonchak
	6 Petrosimonia群落	<i>Frankenia hirsuta</i> , <i>Limonium otolepis</i>	Solonchak
	7 Suaeda群落	<i>Petrosimonia triandra</i>	Solonchak
	8 Salicornia群落	<i>Suaeda acuminata</i> , <i>Suaeda crassifolia</i>	Solonchak
III	9 サクサール群落	<i>Salicornia europaea</i>	Solonchak
	10 カヤツリグサ群落	<i>Haloxylon sp.</i> , <i>Salsola nitaria</i>	Sand
IV	11 イネ科植物群落	<i>Bolbosiohenus maritimus</i>	Boggy soil
	12 Tamarix群落 (1)	<i>Aelurops littoralis</i>	Solonchak
	13 Tamarix群落 (2)	<i>Tamarix sp.</i> , <i>Salsola nitaria</i>	Solonchak
	14 枯海草	<i>Zonstera nana</i> (枯)	Sand
	15 Takyr soil		
	16 Takyr like soil		
	17 Sand		
V	18 Solonchak		
	19 Seaside solonchak		
	20 塩類集積地		
VI	21 水域		

ザ科の一年生草本の *S. europaea*, *Suaeda* sp., *P. triandra* (優占種の植被率が90 %を超える地点がそれぞれ4, 5, 3, 地点存在) と, Solonchak上に成立するアカザ科の灌木であり *H. caspica*, *H. strobilaceum strobilaceum*, フランケニア科の *Frankenia hirsuta*, イソマツ科の *Limonium otolepis* は塩分の強い土壤に生息する種である¹²⁾。IVのアカザ科のサクサール (*Haloxylon* sp.) は塩分の少ない土壤や砂地に生息する灌木である。Vのカヤツリグサ (*Bolbosiohenus maritimus*) や牧草となるイネ科の *Aelurops littoralis*, ギョリュウ科の *Tamarix* sp. は弱塩性で土壤水分がある程度含まれる土壤に成立する種であり, 地下水位条件によっては砂地にも生育する¹²⁾ (優占種の植被率が90%を超える地点がそれぞれ2, 3, 10地点存在)。以上の植物種と各種の成立する土壤の特徴より, Axis1は水分条件に, Axis2は土壤塩分条件に対応していると推定される。この各グループに含まれる種には単一で広大な面積を優占する種が含まれていることより, 植被率が90 %を超える種を一つの群落タイプとし, 土壤タイプとの組み合わせより, 植生については最終的に13タイプを凡例とした。植物の成立しない裸地については, Pachikin(2002)の分類¹⁰⁾に従い6タイプを凡例として加えた。以上の結果より, 本地域の土地被覆類型は, 各植物群落の成立する土壤タイプとの対応より, 水域を含めて合計21タイプの土地被覆に分類された。表-1に土地被覆類型と各凡例の優占種および土壤タイプを示す。

4.2 教師付土地被覆分類画像の作成

4.1の類型に基づき, 2002年8月におけるグランドトゥルースよりLSETM+(2002年8月)の画像を用いて教師付分類(最尤法)を行った。分類精度の検証において使用した638地点のピクセルの分類精度と類型の検証後の分類精度を表-2に示す。現地データに基づく教師付分類では, 類型4, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19の分類精度が低く, 総合分類精度は69.12 %であった。誤分類された類型の組み合わせでは, 降水依存型小物群落1 (3: 類型番号) と2 (4), ヨシ群落 (1) とカヤツリグサ群落 (10), イネ科植物群落 (11) と *Tamarix* 群落 (12,13), 枯海草 (14) と Solonchak (18)

表-2 土地被覆類型 (上) と検証後類型 (下) の画像分類精度

Table 2 Quality of supervised classification by LSETM+.

土地被覆類型	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	計	適合率 (%)	
ヨシ群落	1	41																				21	83.7	
砂地植物群落	2		45	3	2																	50	72.8	
降水依存型植物群落 (1)	3			40	15																	58	65.6	
降水依存型植物群落 (2)	4		2	14	15																	31	48.4	
塩生植物群落	5					10											2	2				20	80.0	
Petrosimonia群落	6						10	3														30	71.4	
Suaeda群落	7							23	4													30	76.7	
Salicornia群落	8								24													27	88.9	
サクサール群落	9									2												2	100.0	
カヤツリグサ群落	10	4									2											6	33.3	
イネ科植物群落	11	2										1										7	57.1	
Tamarix群落 (1)	12	1											1	18	14							33	47.4	
Tamarix群落 (2)	13													7	7	4						18	22.2	
枯海草	14														4							4	100.0	
Takyr Soil	15															30	11					41	73.2	
Takyr like Soil	16																2					2	66.7	
Sand	17																					28	78.6	
Solonchak	18																					58	46.6	
Seaside Solonchak	19																					22	54.5	
塩類集積地	20																					41	78.0	
水域	21																					50	96.0	
検証データ (ピクセル数)	50	54	57	35	19	13	28	28	10	10	12	28	24	55	13	27	38	36	37	50	638			
分類精度 (%)	82.0	83.3	70.2	42.9	64.2	76.9	82.1	85.7	20.0	29.0	33.3	64.3	16.7	28.6	90.9	15.4	81.5	71.1	33.3	88.5	96.0			
総ピクセル数: 638																						総一致ピクセル: 441	総合分類精度: 69.12	誤差割合の多いセル

土地被覆類型	統合セル	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	計	適合率 (%)		
ヨシ群落	A	1,10	53												2	55	86.4	
砂地植物群落	B	9,2		53	5					5						63	94.1	
降水依存型植物群落	C	3,4			5	87										92	94.6	
塩生植物群落	D	5				16										20	80.0	
Petrosimonia群落	E	6					10	3								30	71.4	
Suaeda群落	F	7						23	4							30	76.7	
Salicornia群落	G	8							24							27	88.9	
Tamarix群落	H	11,12,13								55						63	34.7	
Takyr Soil	I	15,16									64	4			3	71	90.1	
Sand	J	17										22	2		28	78.6		
Solonchak	K	18,19											4	1	81	92.0		
塩類集積地	L	20												5	32	37	86.5	
水域	M	21														48	50	96.0
検証データ (ピクセル数)		60	64	92	19	13	28	28	64	68	27	88	37	50	638			
分類精度 (%)		88.3	82.8	94.6	84.2	76.9	82.1	85.7	85.9	94.1	81.5	92.0	86.5	96.0				
総ピクセル数: 638																総一致ピクセル: 568	総合分類精度: 89.0

図-4 土地被覆類型検証後の教師付分類画像

Fig. 4 Supervised classification image of Landsat ETM+

図-5 各植物群落分光反射曲線とSoil Line

Fig. 5 Spectral reflectance curve and soil line.

とSeaside Solonchak (19), Takyr (15) とTakyr like soil (16), サクサウル群落 (9) と砂地植物群落 (2) とでそれぞれ誤分類されていた。これらは各バンドにおける反射率の類似によると考えられ、分類精度の向上のため類似したものを統合し一つの類型として再度教師付分類を行ったところ、表-2の下表に示すように各類型の分類精度が向上し総合分類精度は89.0 %となった。よってこの類型を本地域におけるLSETM+を用いる上での土地被覆類型とし、植物群落を8タイプ、裸地を水域を含め5タイプの合計13類型が最も妥当であると判断し、最終的な教師付分類画像を作成した (図-4)。

4.3 対象地域における植生指数と植物群落の物理量の関係

植生類型ごとの現地測定による分光反射率の曲線と、TSAVI の計算に必要なSoil Lineを図-5に示す。得られたSoil Lineは $y = 0.677x + 0.0346$ ($R^2 = 0.9202$)であり、 $a = 0.677$, $b = 0.0346$ としてTSAVIの算出を行った。NDVIとTSAVIそれぞれに対する地上部現存量と同化部現存量の乾燥重量とLAIの関係の推定に当たっては、全群落、高い植生量を持つヨシ群落とその他の群落にわけ、それぞれの関係を図-6に示し、関係式と相関係数を表-3に示す。

地上部現存量との関係では、全群落とヨシ群落でNDVI, TSAVIともに有意であり、その他の群落ではNDVI, TSAVIともに有意ではなかった。ヨシ群落においてNDVIとの相関係数が0.955, TSAVIとが0.979という高い相関が見られ、また全体的にTSAVIのほうが高い傾向にあった。しかし全群落を対象とした相関係数はNDVIで0.2848, TSAVIで0.2968と非常に低い傾向がみられた。同化部現存量との関係では地上部現存量の傾向と類似しており、全群落とヨシ群落とで有意であり、ヨシ群落においてNDVIが0.9151, TSAVIで0.9542と相関が非常に高い傾向にある。全群落との関係は地上部現存量より高い傾向にあり、NDVIで0.4687, TSAVIで0.5071であった。しかしその他の群落においてはNDVIとの関係において有意ではなかった。また同じくNDVIよりもTSAVIのほうが全体的に相関が高くなる傾向がみられた。

一方LAIではNDVI, TSAVIと対象群落のすべてにおいて有意であり、全体的な傾向としてTSAVIよりもNDVIのほうが、相関係数が高い傾向にある。ヨシ群落においては地上部現存量や同化部現存量での相関ほど高くはないが、NDVIで0.8816, TSAVIで0.8144と高い相関が見られる。一方全群落との関係では両現存量より高く、NDVIで0.6466, TSAVIで0.622であった。その他の群落についてはそれほど高い相関がみられなかった。以上の結果より、NDVIおよびTSAVIに対して、地上部現存量よりも同化部現存量の方が全体的に相関が高いことがわかった。これは測定した植物群落には植物体の大半が同化部である草本群落と、幹や枝などの非同化部を持つ木本群落の二つが混在しており、同化部での光の吸収と反射の違いから計算されるNDVIやTSAVIとの関係が低く、非同化部が地上部現存量の値に含まれ、その存在が相関係数の低下に影響していると考えられる。また同化部現存量と同

図-6 植生指数と植生の物理量の関係

Fig. 6 Relationships between vegetation indexes and each quantitative vegetation factor.

表-3 植生指数と植生の物理量の関係式およびR²値

Table 3 Exponential expression of relations between vegetation indexes and quantitative vegetation factors, and values of coefficient determination.

対象群落	指数回帰式	R ²
NDVI-地上部現存量	全群落 $y = 222.69e1.6548x$	0.2848 **
	ヨシ群落 $y = 161.27e2.6819x$	0.955 **
	その他の群落 $y = 319.37e0.4437x$	0.0181
TSAVI-地上部現存量	全群落 $y = 201.8e2.1294x$	0.2968 **
	ヨシ群落 $y = 139e3.4407x$	0.979 **
	その他の群落 $y = 302.71e0.6538x$	0.0255
NDVI-同化部現存量	全群落 $y = 90.071e2.0635x$	0.4687 **
	ヨシ群落 $y = 60.715e2.782x$	0.9151 **
	その他の群落 $y = 108.71e1.5286x$	0.2144
TSAVI-同化部現存量	全群落 $y = 78.646e2.691x$	0.5017 **
	ヨシ群落 $y = 51.285e3.5996x$	0.9542 **
	その他の群落 $y = 96.85e2.0397x$	0.2469 *
NDVI-LAI	全群落 $y = 0.1919e4.1626x$	0.6466 **
	ヨシ群落 $y = 0.1011e5.553x$	0.8816 **
	その他の群落 $y = 0.2893e2.9007x$	0.3946 **
TSAVI-LAI	全群落 $y = 0.1801e5.7072x$	0.6022 **
	ヨシ群落 $y = 0.1194e7.8926x$	0.8144 **
	その他の群落 $y = 0.2614e3.9944x$	0.4588 **

** P<0.01 *P<0.05

化部の主体をなす葉の面積から求められるLAIとでは、LAIの方が全体的に相関が高い傾向にある。これは本地域の群落構成種において、ヨシやカヤツリグサなどのイネ科草本を除

図-7 2つのLAI回帰式を用いたLAI画像

Fig. 7 LAI image applied with two different LAI exponential expressions of relations.

けば大半が多肉植物であり、分光反射に影響する面積に対する乾燥重量の割合が種や群落によって著しく異なるためと考えられる。また植生指数では現存量、LAI共にヨシ群落ではNDVIで相関が高く、その他の群落でTSAVIでの相関が高かった。これはヨシやカヤツリグサなど植被が一樣な群落に対し他の群落では土壌の露出割合が高いなど、土壌の影響によると考えられる。よって本地域におけるLSETM+を用いた定量的な植生量の推定にあたっては、LAIを用いることが適していると考えられ、教師付分類より得られた土地被覆分類画像より、ヨシ群落の示すピクセルにはNDVIとLAIの回帰式を、その他のピクセルについてはTSAVIとLAIの回帰式を適用することが本地域の植生量を評価するうえで最も適しているとの結論が得られた。そこで、これらの回帰式を適用し、対象地域におけるLAIの分布を推定をおこなった（図-7）。

今後は、以上の方法に基づき各年度の現地調査データをグランドトゥールースに用い、多時期画像の分類とLAI画像の作成を行い、ヨシに代表される湿地帯といった植物群落の経年変化のモニタリングや現地生態系指標種を用いた生態系評価を行う方向である。

本研究は国際連合大学秋野フェローシップの助成を得て行った成果の一部である。現地の土壌分類にあたってはカザフスタン科学アカデミー土壌学研究所のコンスタンチン・パチーキン氏に指導をいただいた。植物種の同定については、同アカデミー植物学研究所の方々に御協力をいただいた。また現地調査においては環境監視研究所の市原真紀子さんに補助

をいただいた。この場をお借りして厚く御礼を申し上げます。

引用文献

- 1) Baret, F. Guyot, G. (1991) Potential and Limits of Vegetation Indices for LAI and Apar Assessment, Remote Sensing Environment., No 35 : 161-174.
- 2) 堀川真弘・森本幸裕・夏原由博・コンスタンチン・パチーキン (2001) SPOT衛星データを用いたアラル海旧湖底域およびシルダリアデルタにおける植生変動モニタリング, ランドスケープ研究64(5) : 805-810.
- 3) 石田紀郎 (1993) カザフスタンの環境問題に取り組むまでの経過, 日本カザフ研究会調査報告書No.1 : 1-8.
- 4) 石田紀郎 (2000) アラル海ダムの建設と決壊, 日本カザフ研究会調査報告書No.8 : 1-11.
- 5) カザフスタン水文気象庁 (2003) クジルオルダ地区, カザリンスク気象観測所観測記録.
- 6) Miclin, P. (1991) The Water Management Crisis in Soviet Central Asia. The Carl Beck Papers in Russian And East European Studies, University of Pittsburgh, 120pp.
- 7) 守村敦郎・森本幸裕・ナタリア・オガリ (1995) アラル海流域植生調査 (Wide investigation of vegetation in the Aral Sea basin), 日本カザフ研究会調査報告書No.2 : 49-63.
- 8) Natalia, O.(2000)Vegetation Dynamics on the Syrdarya Delta and Modern Land Use, Sustainable Land Use in Deserts, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New york, pp74-83.
- 9) Ogar, N. (1995) Anthropogenic Dynamics of Vegetation of Central Asia, Forum on the Caspian, Aral and Dead Seas Proceedings, UNEP International Environmental Technology Center, pp73-76.
- 10) Pachikin K., Morimoto Y., Krivenko V. (2002) 3-D soil model of modern Syr-darya delta and Adjoining part of Aral Sea dried Bottom., 17th WCSS, Thailand, Symp 52, No1102 : 1-8.
- 11) Rachkovskaya,E.I.(1995) Vegetation of Kazakstan and Middle Asia (Desert Region), St.-Petersburg, 128pp.
- 12) Siegmar-W, B., Anja, S. and Walter W. (2000) Halophytes on the Dry Sea Floor of The Aral Sea. Sustainable Land Use in Deserts, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New york, pp139-146.
- 13) Siegmar-W, B., Walter W, Boris, G., and Okmir, A. (2000) The Aral Sea Crisis Region. Sustainable Land Use in Deserts, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, pp27-37.
- 14) Walter, W. and Siegmar-W. B, (2002)Vegetation Dynamics on the Dry Sea Floor of the Aral Sea, Sustainable Land Use in Deserts, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, pp52-68.

(2004.6.19 受理)