

称号及び氏名	博士（農学）堀川 真弘
学位授与の日付	平成 17 年 3 月 31 日
論文名	「アラル海縮小による植生変動の広域評価と 地域生態系保全に関する研究」
論文審査委員	主査 教授 前中 久行 副査 教授 荻野 芳彦 副査 教授 増田 昇 副査 助教授 夏原 由博

論文要旨

第一章 研究の背景および目的

中央アジア西部に位置するアラル海は、乾燥地域にもかかわらず、広大な水域と湿地帯が形成されており、生態的に重要な存在であった。しかし 1950 年代に始まった灌漑農業開発による河川水の大量使用は湖の縮小をもたらし、様々な環境問題を引き起こしている。これまで自然科学、社会、経済など様々な分野において湖縮小に関する原因や変遷状況が示されているが、周辺を乾燥地に囲まれ、湖岸線の移動や湖底の陸地化という厳しい条件化での調査を必要とするため、既存の報告はいずれも断片的であり、体系的な研究は行われていない。本研究ではアラル海の縮小によって生じた自然生態系の劣化に着目し、植生を中心とする生態系の変化を、現地調査および衛星リモートセンシング手法を用いて明らかにし評価することで、地域生態系の保全に関する知見を得ることを目的とした。

第二章 アラル海の縮小にともなう広域植生変動の評価

本章では、アラル海全域の変遷状況を、統計資料や衛星画像を用いて明らかにするとともに、新たに干上がった湖底における、植生の広域的な変動状況を、リモートセンシングを用いて評価した。広域をカバーする観測衛星 NOAA/AVHRR の 1989 年、1995 年、1997 年夏季の画像より、NDVI（正規化差植生指数）画像を作成し、縮小初期より最近までの海岸線の位置の特定を行い植生量の比較を行った。

その結果、アラル海は縮小以前の水位を標高 53m とした場合、面積は約 66450km²（100%）であったが、1990 年頃には北側の小アラルと南側の大アラルに分断され、2004 年において約 20020 km²（30.1%）にまで縮小しており、近年になるほど縮小速度が増加していることが明らかとなった。湖の陸化は湖底が緩傾斜である大アラルの東岸から南岸において特に著しく、最も移動の大きい場所では 2004 年までに約 140km 以上の湖岸線の移動が生じている。干上がった湖底域の植生については、時系列的にみると、陸化後の年数が経つにつれて植生が発達していることが NDVI 値からみて明らかとなった。また縮小以前のアラル海周辺の陸域から各年代の湖岸線への距離が増加するとともに植生が未発達であることが明らかとなり、陸化年数の経過や陸化時期が植物の侵入や発達に関連すると考えられた。

第三章 シルダリア下流域における植物群落の分布と植生量の推定

アラル海の干上がった湖底域に成立する様々な植物群落の分布やその変遷を定量的に明らかにするには、衛星リモートセンシングが有用である。しかし、本地域のこれまでの植物群落の分類は景観を定性的に区分したものであり、衛星画像から得られる地面の情報には必ずしも即していない。また広域的な群落の分布や環境評価に用いる具体的な植生量との関係も明らかではない。本章では、

希少な湿地帯が残存するシルダリア下流域およびアラル海旧湖底域を対象として、現地調査に基づき土地被覆タイプの類型化を行った。さらに分類した区分に基づき、2002年7月のLandsatETM+画像を用いて教師付分類を行った。また現地測定による分光反射率と地上部現存量、同化部現存量、LAI（葉面積指数）などの植生量との関係を明らかにし、衛星画像を用いた植生量の推定手法を検討した。

現地群落調査より得られた93地点82種の植被率のデータを用い、Correspondence Analysis（対応分析）およびクラスター分類による種のグループ化を行い、さらに土壌タイプと組み合わせ土地被覆の類型化を行った。その結果、植生については最終的に13類型、植物の成立しない裸地については水域を含め8類型、合計21類型の土地被覆に分類された。この類型に基づき、現地調査データを教師としたLandsatETM+画像の分類において最適な分類区分を再検討したところ、衛星画像で判断可能な区分として、89.0%の正判別率で植物群落は8類型、裸地と水域が5類型、合計13類型の分類画像が得られた。

植生類型ごとの現地測定による分光反射率より、植生指数NDVIとTSAVI（Transformed Soil Adjusted Vegetation Index）を算出し、それぞれに対する植生量との関係を、全群落、ヨシ群落、ヨシ群落以外の群落の場合にわけて検証した。その結果、本地域の生態的植生評価に関わる前指標の中ではLAIの推定が比較的精度が高く、その推定式としてヨシ群落の場合 $LAI=0.101\exp(5.55NDVI)$ 、その他の群落への場合 $LAI=0.261\exp(3.99TSAVI)$ が得られた。以上のことから衛星画像を用いて対象地域の植物群落を判別すること、およびLAIの空間分布を把握することで、モニタリングや生態系評価を行うことが可能となった。

これらの手法を用いて旧湖底域における陸化年代と植物群落の分布状況の評価を行った。その結果、湖底の陸化に伴い、湿塩生植物で一年生草本である

Salicornia 群落から Suaeda 群落, Petrosimonia 群落の侵入と衰退が, 陸化 2 年後から 18 年後の間に順次生じており, その後木本植物の群落に移行し, 14 年後頃より Tamarix 群落, 25 年後頃から Halocnemum sp.などの塩生植物群落が入り, 最終的に Calligonum spp.などの砂地植物群落や Artemisia terrae-albe に代表される降水依存型植物群落へと遷移が生じていることが明らかとなった。またその過程において LAI が増加することが明らかとなった。

第四章 シルダリア下流域における湿地生態系への影響要因の評価

本章では, 対象地域内の湿地帯の変遷に対する人為的環境要因として河川流量を取り上げ, その関連性についての評価を行った。湿地帯の変遷は, 1987 年, 1989 年, 1999 年, 2000 年, 2001 年, 2002 年夏季の衛星画像より作成した LAI 画像を用い, 対象域のすぐ上流に位置する頭首工からの放流量との関係を見た。すなわち河川流量の異なる時期について, それぞれの時期における河川流量と LAI の変動との関連性を検証した。その結果, 河川, 小湖沼, 灌漑用水路付近において, 河川流量とヨシ群落の LAI との間に強い相関がみられた。ヨシ群落以外の地域には有意な相関は見られなかった。また期間別に設定した河川流量では, 画像撮影前 2 ヶ月からの平均河川流量により強い相関が見られた。

さらに, 湿地生態系上位種であるモモイロペリカン (*Pelecanus onocrotalus*) について, 2002 年 6 月に対象地域内の 23 箇所の小湖沼において現地調査および漁師への聞き取り調査を行い, 7 箇所において幼鳥の生息を確認した。生息環境への影響要因について検討を行い, コロニーの存在をヨシ群落の面積によって予測するロジスティック回帰分析によって, コロニーの存在確率が 0.5 となるには約 18.1km² のヨシ群落が必要であると推定した。

第五章 まとめ

本研究では、現地調査と衛星画像を併用することによって、アラル海地域の植生を中心とした生態系の変動の評価を行い、その特性の把握と関連する要因の解明を試みた。本地域はアラル海の縮小にともなう陸化により現在も形成されつつけている裸地の生態系と、シルダリア河川流量の減少によって衰退した湿地生態系が存在している。このような植物群落の定量的評価には、現地調査から得られた土地被覆類型と2つの回帰式を用いたLAIの推定手法を、衛星画像に適用することで可能となった。アラル海の縮小にともない干上がった湖底域では、一定の順序で植生の侵入と遷移が生じ、その過程において植生量が増加している。これにより湖底の陸化後は塩性の裸地のままではなく、時間の経過にともなって植物の侵入が生じ、植物群落の遷移によって新たな生態系が順次形成されていることが明らかとなった。しかし近年のアラル海の湖岸線付近は、より塩分濃度が高まった時点で干上がった土地であり、植生侵入に不適な条件と考えられ、この地域の植生の増加、回復には相当の時間がかかると予測された。また、シルダリア下流域に残存する希少な湿地帯の変動には、河川流量が影響しており、特に春季から夏季における流量が重要であることが明らかとなった。このような湿地帯における生態系上位種であるペリカンは、一定面積以上の湿地帯を確保することにより生息可能になると推定された。

本地域の生態系の修復・保全に関わる重要因子は人為コントロールによって変動するシルダリア川の河川流量である。よって、中上流域に存在する各灌漑農業地帯の農地改良や運河修復による水利用の効率化、灌漑農地への取水量と下流域への流下量を考慮に入れた灌漑農地間の取水調節、特に灌漑農地への取水量が増加する季節における下流湿地帯への流下量を確保することが必要である。これによるアラル海への河川流入量の増加は、湖底の陸化に伴う塩性裸地の拡

大を軽減するとともに、衰退した河畔やデルタ地域の湿地帯の回復につながり、最終的に健全な湿地生態系と安定した地域生態系の保全につながると考えられる。

審査結果の要旨

中央アジア西部に位置するアラル海は、乾燥地域にもかかわらず、広大な水域と湿地帯が形成されており、生態的に重要な存在であった。1950年代に始まった灌漑農業による河川水の大量使用、ソ連の崩壊による水利施設の老朽化と水管理の混乱が湖の縮小をもたらした。深刻な環境問題を引き起こしている。しかし、アラル海の変遷状況やその原因に関する従来の研究は、断片的で地域生態系の保全を目的とした体系的な研究は行われていないのが実状である。本研究はアラルの縮小によって生じた植生を中心とする生態系の変化を、現地調査および衛星リモートセンシング手法を用いて把握評価することで、地域生態系の保全に関する知見を得ることを目的としている。得られた成果は以下の通りである。

1. アラル海全域の変遷状況をリモートセンシングを用いて詳細に把握している。撮影時期の異なる観測衛星 NOAA/AVHRR の画像より、縮小初期より最近までの湖岸線の後退経過を明らかにしている。縮小以前の水面面積約 66,450km² が、1990年頃には北側の小アラルと南側の大アラルに分断され、2004年には約 20,020km² (30.1%) にまで縮小しており、近年になるほど縮小速度が増加していること、最も移動の大きい場所では 2004年までに 140km 以上の湖岸線の移動が生じていること、また、旧湖底の地形標高をもとに湖水体積の減少量も示して、アラル海縮小の実態を明らかにしている。

2. 衛星画像を用いて対象地域の植物群落を判別する手法を確立している。シルダリア下流域およびアラル海旧湖底域での群落植生調査によって植生の分類を行い、さらに、LandsatETM+衛星画像より得られる情報から判別可能な区分として、植生を 13 類型、無植生地については土壌により 8 類型に再分類し、高い正判別率の土地被覆分布図を作成している。

3. 植生類型ごとに、現地測定分光反射率から植生指数 NDVI と TSAVI を算出し、これらと群落の葉面積指数や群落現存量との関係式を得ている。この関係式を用いることで衛星画像の NDVI と TSAVI から葉面積指数や群落現存量を広域的に把握する手法を確立している。

4. 旧湖底域における陸化年代と植物群落の分布について衛星画像を用いて解析し、陸化からその後の約 30 年間について、湿塩生草本群落から木本植物群落への植生の遷移系列と侵入時期を明らかにしている。同時に、各群落の現存量や葉面積指数を現地測定し、植生回復の初期過程を明らかにしている。

5. 湿地生態系上位種であるが、既に絶滅とされていたモモイロペリカンのコロニーを再確認し、その存在予測モデルによってヨシ群落面積との関係で、コロニーの存在確率を示している。

5. 衛星画像から把握した湿地帯面積の変動に関する環境要因として河川流量を取り上げ、

河川，小湖沼，灌漑用水路付近におけるヨシ群落の葉面積指数が河川流量と強く相関することから，下流への河川流下量が確保されれば健全な湿地生態系の保全が可能であること，とくに灌漑農地への取水量が増加する春から夏における下流湿地帯への流下量がヨシ群落の消長と関係することを示して，この時期に湿地帯への流下量を確保するためには灌漑農地での水利用の効率化と水路など水利施設の修復が重要であることを改めて確認している。

審査委員会の所見

20 世紀の地球における環境破壊の象徴といわれているアラル海地域において，ソ連の崩壊後の混乱などのために情報が極めて限られていた中で，現地で植生を詳細に調査しその地域的・時間的な変動をアラル海の縮小との関連で具体的に明らかにし，また現地での植生区分や土壌区分，葉面積指数の測定値を衛星画像と対応させることによって高い精度で土地被覆分布を判別する手法とその結果を具体的に示した本研究は，地域生態系の保全に非常に有用な知見を提供するものである。

これらの成果は，緑地環境保全学ならびに地域環境科学領域の発展に大きく寄与するものと考えられ，最終試験の結果と併せて，博士(農学)の学位を授与することを適当と認める。