

黄河三角州における タンチョウ適性生息環境の変化分析

舒莹^{1,2}・胡遠満¹・郭篤発^{2,3}・单凱⁴・朱書玉⁴・王立東⁴

1 中国科学院瀋陽応用生態研究所 2 山東師範大学人口・資源環境学院

3 瀋陽農業大学土地・環境学院 4 山東省黄河三角州国家級自然保護区管理局

訳 福井和二

摘要:黄河三角州の生物環境分布図を基に、遠隔地理情報より得たタンチョウ (*Crus japonensis*) の3期間にわたる生息環境分布図を作った。APACKソフトにより計算し、1986~2001年黄河三角州における土地利用動態の状況をタンチョウの生息環境の動態変化と結合して分析した。結果はタンチョウの生息環境面積が絶え間なく減少し、該当地域の環境破壊の程度も次第に高まっている。タンチョウが相応に適応している生息環境類型の面積で、軽度の人的干渉地域、水深の深い魚の養殖池(人間の造成による)を除く以外の面積が増加しており、総じてタンチョウの生息環境は質的にも量的にも減少している趨勢である。黄河三角州におけるタンチョウの生息環境の変化は人間活動が大きな動力となっている。

生息環境とは鳥類の生活と繁殖の場所、すなわち鳥類の生活のための環境条件である^[1]。生物の生存環境の優劣は、彼らの生活の永続にとって非常に重要なことである^[2]。近年、人間の活動がますます増強し、各地で自然環境の変化が進み、動物の生息環境が変化し、種の多様性の喪失と生息環境の崩壊が進みつつある。タンチョウ (*Crus japonensis*) は絶滅危惧種とされ^[3~6]、国際自然保護連盟(IUCN)のレッドデータブックに絶滅危惧種として収録され^[2]、我が国では国家一級保護動物に指定されている。タンチョウについての研究は国の内外を問わず、休むことなく続いており、その研究対象は繁殖、渡り、越冬などをはじめとして、生息地の選択^[8~11]、繁殖期の行動^[9,11~13]、越冬期の行動^[14~19]、分布^[14~19]、なわぼり行動^[20,21]などに集中している。鳥類は季節によって、異なる環境を選択して生活している。タンチョウは北方気候に適応した鳥類で、彼らにとって渡り、越冬に必要な生息地選択は極めて重要である。タンチョウは人間の活動に敏感なことから生息地を決めるのに人の干渉が少ない湿地を選択している。したがって、湿地環境の変化は彼らの生存、発展に直接影響を与えることとなる。衛星画像解析により黄河三角州地域におけるタンチョウの越冬と渡りの生息環境の分析研究を行ない、タンチョウに対する環境変化の影響を検証し、タンチョウの保護のためばかりでなく、その他の稀少野生動物の保護のためにも参考として提供したい。

1. 研究対象地域の概況

黄河三角州はわが国の3大河口三角州の一つで、世界的にも砂州の成長が最も早い地域の一つである。今日の黄河三角州の壟利県寧海を頂点として、北は套尔河口、南は溜脉溝口にいたる面積6100km²は、わが国最大の新生湿地生態系である。域内の干潟は広大で、湿地・砂州が豊富であり、豊かな水生植物および各種の魚類と無脊椎動物は、水鳥に十分な食物を提供している^[24]。生物環境の類型は寄木細工のようにまだら模様で、多様な景観を呈している。またこれが、水鳥の生息に好適な場所を提供し、この優れた環境が多くの水鳥の生息に利用されている。その内の黄河三角州国家級自然保護区は東アジア、オーストラリアのシギ・チドリ類渡り鳥条約の重要な場所となっている。さらに、毎年5 km²近くの速度で新たに陸地が形成され、世界におい

でも最も大きな土地面積の自然増がある自然保護区である¹²⁶⁾。保護区内にわが国第2の油田、勝利油田があり、この地域の開発が進み、人間の野生動物に対する攪乱が次第に増大している。その上、最近黄河の水量が激減していることが、三角州の水鳥の生息環境に対して非常に大きい影響を与えている。

区域内の数多くの水鳥中、ツル類は突出した存在で、なかでもタンチョウは個体数の多い種である。黄河三角州は現在タンチョウが越冬する地域の北限で¹³⁾、そこにはまったく開発されていない沼沢と干潟があり、彼らの楽園となっている。毎年200羽ほどが越冬し、渡りの中継地として800羽内外が利用している。黄河三角州はツル類の越冬地として、また、中継地として重要な地域であり、タンチョウの保護の上からも国際的に重要な意義を有している¹²⁵⁾。タンチョウは毎年秋10月下旬から12月上旬にかけて、また、春は2月上旬から3月上旬にかけてその数が集中し、冬季には少数が越冬している。

2. 研究方法

2.1 データの根拠と処理；主要なデータは1986、1996、2001年の3つのLandsatTMデータおよび1980年の1/10万地形図30枚による。3期のTMデータと1980年地形図を基準に合わせたのち、実地調査の地図上に、ERDA遠隔図形処理ソフトで分類を行ない、目視観察で得た3区の土地利用図と対照した。3期のTMデータは撮影時期が異なり(2001年は5月、1996年は9月、1986年は6月)、潮位に差があり、潮間帯の出現にある程度の差が現れる可能性が指摘される。

基礎的な土地利用図の上で生息環境要素の分析を行ない、単要素提取法と合併法を合わせて採用した。人の干渉、攪乱が多いことと食物の少ない土地利用については等級をつけて分類し、水分と遮蔽物に対してさらに、水分指数とNDVI指数分析を行ない、総合的に考慮した後、再び分類を行ない、生息環境要素の専用地図を作成した。最後に生息環境要素地図にまとめて、3年間の生息環境類型分布図を作成した。各生息環境要素の分類、等級分けの基準は表1から4までに示す。

表1 黄河三角州水鳥生息環境の攪乱等級表

攪乱分類	区内の特性
1 無攪乱	人の頻繁な活動がない
2 軽攪乱	古来からの生産活動、水域および人の攪乱が極めて少ない植生区
3 中攪乱	集約的農業活動及び道路、油井緩衝区
4 重攪乱	人の活動密集、土地の造成、破壊

表2 黄河三角州水鳥生息環境の水についての等級表

攪乱分類	区内の特性
1 乾燥	地面乾燥、表土の<10%
2 湿地	表土含水量>10%、但し湛水がない
3 浅い水深	水深<30cm
4 深い水深	水深>30cm
5 潮間帯	間欠的な潮の干満

2.2 タンチョウに適した生息環境の確認；タンチョウに適した生活環境は水、食物、身を隠す隠蔽物、人の攪乱と4つのことから着手し、今まで研究してきた結果^{116,18,26~29)}およびこの2年の実地観察に基づいてタンチョウの生息に適した生息環境を確定した。水分；タンチョウは水の多いところに生息し、水の少ない場所にタンチョウを見ることは非常に少ない。その水の化学分析で塩分濃度が0.6~1.5%の範囲であった。食物；中国鳥類誌¹³⁰⁾によるとタンチョウは雑食性鳥類とあり、柔らかい水生植物、大豆、小麦、軟体動物、甲殻動物、魚、エビ類などを、越冬期は無脊椎動物を多く摂るが、近年植物食が比較的増加している。隠蔽物；観察してわかったことは、この地域のタンチョウでは隠蔽物の必要性が少なく、たとえば、広大な潮間帯、干潟な

ど、タンチョウの生息域そのものが身を隠す隠蔽物件である。人の干渉；水鳥はすべて人の干渉の少ないところに生息する、タンチョウはさらにその特性がはっきりしており、彼らは人の活動が少しでも少ない地域を選んで生息している。これを明らかにする必要があるが、適当な生息環境の確定方法は人類の主観的認識と先人の調査、経験により、これらは一面的であり、実際の状況と一致しないことがある。

タンチョウは人の攪乱に対して非常に敏感で、通常、渡り、越冬時とも最も人工建造物に接近する距離は200m、油井からの距離は300mとされている。道路および油井などそれぞれ200mと300mの緩衝域はタンチョウの生息環境に適応してできたものである。

2.3 分析方法 黄河三角洲におけるタンチョウの生息環境図のもとに、景観生態学の基その内本理論を用いて、の景観空間型式分析ソフト APACK により景観指数の計算を行なった。本研究はパッチ状の円周長と面積比 (corrected patch perimeter/area ratio), fractal double log dimension, 集合度 (aggregation), 伝播性 (contagion) パッチ連結性 (connectivity between patch cancronds), 多様性指数 (SHDI),

表3 黄河三角洲における水鳥の食物と環境

食物分類	区域の特性
1 穀物草の種子	陸地、植物性食物
2 魚類	湖沼、魚類、蛙類等
3 エビ、カニ	エビ、カニ、田圃生物
4 無脊椎動物	泥質干潟生物
5 浮遊生物	湖間帯浮遊生物

表4 黄河三角洲の隠蔽物分類

隠蔽物分類	区域の特性
1 稠密高隠蔽物	植被鬱閉度>30%、平均物質高度>1m
2 稠密中隠蔽物	植被鬱閉度>30%、0.3m<平均物質高度<1m
3 分散高隠蔽物	植被鬱閉度<30%、平均物質高度>1m
4 分散中隠蔽物	植被鬱閉度<30%、0.3m<平均物質高度<1m
5 分散低隠蔽物	植被鬱閉度<30%、平均物質高度<0.3m
6 ひらけた空間	水域等無植被鬱閉域または鬱閉度が極端に低い地域
7 人工建造物	人の生産活動域

舒莹等、黄河三角洲におけるタンチョウの生息に適した自然環境の変化分析

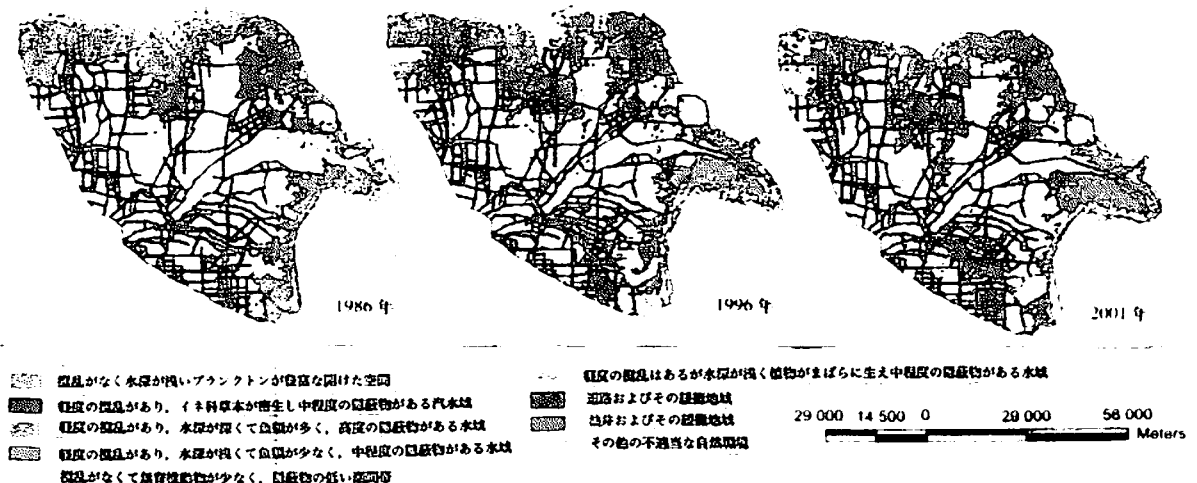


図1 黄河三角洲各時期におけるタンチョウの生息環境類型

平均度指数 (SHEI), と優占度指数 (DOMIN) 等の分析を行なって修正した。修正したパッチ状の円周長と面積比は各類型の生息環境全体景観中の形状を反映し, その比が1のとき, パッチが円形で, 比が1.1のとき, パッチの形状が正方形で, 値が大きければパッチは細長いことを示している。相対数分数維も景観の形状指を示す数で, パッチ周縁の形状あるいは不規則性を表す^[32]。その値が1~2の間で変化する場合, 1に近ければ形状はより規則的で, 2に近ければ形状はより不規則ということになる。野生動物の生息環境条件とパッチの形状は密接な相関がある^[33]。集合度は景観中の各類型別の集合度水準値^[34]を用いて評価し, 数値が1のときは境界が大きく, 最大に群れの生活を享受する可能性があり, 0のときはまったく享受されないことを示し, 集合度は最低である。重心連接度は生息環境の破壊程度を評価するのに用い, 値が低いほど景観が分散し小さなパッチ状になり, 高度の環境破壊状態で, 値が高いほど景観が密集し, パッチは大きく, 環境破壊の程度が低いことを示す。このわずか4つの指数について簡に紹介したが, その他の指数の意味についてはAPACKの紹介を参照されたい。

分析は2段階で行なった。まず, 生息に適した環境と適しない環境について分析した。その際黄河三角洲地域にあるタンチョウの渡りと越冬に適した自然環境を総合的な一つめの類型と考え, 道路と油井の緩衝地域を2つめの類型と見なし, これをタンチョウに利用されない自然環境と考えた。次に適した生息環境内部の各生息環境類型の分析を行なった。土地利用変化の速度 R_{ss} ^[35-39] は次の式で与えられる。

$$R_{ss} = \frac{\Delta U_{out} + \Delta U_{in}}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

式中の ΔU_{out} はある生息環境の T 時間内にその他の環境に変化した類型の面積の和, ΔU_{in} は T 時間内にその他の類型がある環境になった面積の和, U_a は研究初期のある生息環境の面積, T は経過時間。この類型の変化は動態度を反映している。

3. 分析結果

3.1 タンチョウ生息環境の地形指標変化; 3年間のタンチョウの生息環境分布図から得られたものの分析結果を表5, 6に示す。

表5から見られる黄河三角洲における各時期の生息に不適切と見られる残りの地域は全体の

表5 黄河三角洲におけるタンチョウの生息に適した環境と不適当な環境の比較

	総面積		適した環境		道路とその緩衝地		油井とその緩衝地		残りの不適環境	
	hm ²	%	hm ²	%	hm ²	%	hm ²	%	hm ²	%
1986年	615292	100	140989	22.9	92737	15.0	5291	0.9	376275	61.2
1996年	615547	100	112280	18.2	102278	16.6	29445	4.8	371545	60.4
2001年	602965	100	102888	17.1	102850	17.1	31295	5.2	365931	60.7
86-96速度			12.34						2.99	
96-01速度			15.72						5.02	
86-01速度			5.51						2.17	

表6 黄河三角洲におけるタンチョウの生息周辺環境の状況推移

年	パッチ数	平均パッチ面積 hm ²	平均パッチ円周長 m	修正パッチ面積と円周比	分数維	パッチ複雑性
1986	591	246.49	8326.57	2.14	1.22	11.58
1996	1198	129.06	5895.38	1.93	1.21	3.24
2001	933	108.30	5234.34	1.97	1.18	3.05

60%以上で、15年間の、面積比の変化は大きいとはいえない。しかし、緩衝地域を含む道路や油井の面積が少しずつ増え、これら両者の面積率は1986年には15.9%であったが、2001年には22.3%に達しており、特に緩衝区を含む油井の面積増加は26,004hm²を占め、この地区の開発が15年来絶え間なく進んでいることを物語っている。総体的に言うならば、不適当な自然環境(生息に適した環境を除く全ての環境)の面積は年を追うごとに増え、増加した面積は25773hm²に達した。

黄河三角州におけるタンチョウの生息に適した環境の占める比率は極めて少なく、しかも現在絶えず減少している状況にあり、1986年の140,989hm²より、10年後の1996年には112,280hm²、さらに2001年の102,888hm²へと減少し、総面積に占める比率は、1986年の22.9%から2001年には17.1%と減少している。表6に示される、生息に適した環境のパッチ数は一旦増加したがその後減少している。しかし、パッチの総面積は一貫して低下した。パッチの平均円周長も短縮し、平均面積も減少している。パッチ数は1986年から2001年までに442と¹パッチ数は増加したが、平均パッチ面積は減少を続け、パッチの平均円周長も短縮を続けている。平均パッチ面積は1986年には246.49hm²、1996年には129.06hm²、2001年は108.00hm²となり、平均パッチ円周は1986年の8326.57mから1996年の5895.38mに減少し、2001年にはわずかに5234.34mになった。パッチ連結性は自然環境破壊化の指標で、その数値が多ければ該当する自然環境のパッチは大きく、自然破壊の程度が軽く、これに反して数値が低ければ自然破壊の程度が高いことを示している。黄河三角州のタンチョウ生息環境のパッチ連結性の数値は減少しており、1986年は11.58であり、1996年には3.24、2001年にはたった3.05になり、この地域の生息環境の破壊が大きく変化していることを示している。以上の各指標の変化は全て、15年来のタンチョウの生息に適した自然環境が破壊され、次第に低下していることを表しており、生息環境総面積と各パッチ面積の減少は個体群の減少と絶滅を招くこととなる。タンチョウの生息に適した自然環境の修正パッチ面積円周比はそれぞれ1986年2.11、1996年1.93、2001年19.7であり、これは、タンチョウの生息に適した自然環境が狭くて細長くなっていることを示している。タンチョウの適性環境指数は絶えず減少に向かい、1986年は1.22、1996年は1.21、2001年は1.18と指数の下降が環境への人為的干渉が絶えず重くのし掛かっている状況を示し、自然環境パッチがいずれも似たような特性を示し、その多様性、複雑性の程度が低下して、タンチョウの拡散や採食等の活動に不利な影響をもたらしている。生息環境に適した面積およびパッチ面積の減少、パッチの円周長の短縮、狭く、細長くなるパッチの形状等どれをとっても環境破壊が進み、黄河三角州を渡り、越冬に利用するタンチョウにとって生息に適した自然環境が質的にも量的にも減少して、年と共に生息に不適切な環境となることを予告している。

15年間のタンチョウの生息適性環境の変化は強烈で、各段階の動態度は全てが遥かに高く1986～1996年、1996～2001年生息適性環境の変化の動態度はそれぞれ12.34、15.72、5.51に対し、その他の不適切な自然環境の変化の動態度の4.13、3.13、2.01倍となっている(表5)。

3.2 生息適性環境内部の変化 黄河三角州地区のタンチョウの越冬、渡りに適した自然環境類型は豊富、多様で、タンチョウの生息環境圏から生息に適した環境類型を取り出して、その生息に適した自然環境内部の景観構造の変化および景観の異質性の変化を景観指数として単独に分析した。

3.2.1 景観構造変化の分析 タンチョウの生息に適した自然環境の類型は、①攪乱がな

く水深が浅いプランクトンが豊富な開けた空間, ②軽度の攪乱があり, イネ科草本が密生し中程度の隠蔽物がある汽水域, ③軽度の攪乱があり, 水深が深くて魚類が多く, 高度の隠蔽物がある水域, ④軽度の攪乱があり, 水深が浅くて魚類が少なく, 中程度の隠蔽物がある水域, ⑤攪乱がなくて無脊椎動物が少なく, 隠蔽物の低い潮間帯, ⑥軽度の攪乱はあるが水深が浅く植物がまばらに生え中程度の隠蔽物がある水域, などで構成されている。

これらの生息環境類型の平均的パッチ面積および面積比とパッチ数を表7に見ることができる。黄河三角州地区のタンチョウの生息に適した自然環境のパッチ数は明らかに増加しているが, 平均パッチ面積は縮小し, これは環境破壊の過程と趨勢を現し, その程度はますます進み, 多様で豊かな自然環境が単一化している。

表7 黄河三角州におけるタンチョウの生息に適した各種環境の構造変化

	1986年			1996年			2001年		
	面積比 %	平均パッチ面積 hm ²	パッチ数	面積比 %	平均パッチ面積 hm ²	パッチ数	面積比 %	平均パッチ面積 hm ²	パッチ数
1	22.2	316.69	120	14.2	200.02	126	16.7	46.91	399
2	12.5	53.86	352	9.8	20.24	603	14.7	35.35	749
3	2.3	143.46	21	14.9	151.69	158	18.9	44.45	115
4	6.8	109.56	88	7.9	177.86	62	13.4	325.11	39
5	12.9	52.33	260	13.0	57.74	244	10.4	101.21	107
6	43.3	176.23	339	40.2	128.94	437	25.9	68	417
合計	100	114.62	1180	100	81.09	1630	100	51.67	2156

生息に適した自然環境中, 軽度の攪乱があり, イネ科草本が密生し, 中程度の隠蔽物がある汽水域の占める割合が15年間大幅に下降しており, これらの地域はタンチョウが生息する環境として最も多くを占め, そのパッチ数の変化は大きくないが, パッチ平均面積は絶えず減少している状況である。パッチ数が大幅に増加したのは, 軽度の攪乱があり, イネ科草本が密生し中程度の隠蔽物がある汽水域と, 軽度の攪乱があり, 水深が深くて魚類が多く, 高度の隠蔽物がある水域である, これらの平均パッチ面積が絶えず減少し, 軽度の攪乱があり, 水深が深くて魚類が多く, 高度の隠蔽物がある水域の面積比が15年間大幅に増加した。これは人類が意識的にヨシ原の造成・開発を行ったことによる。攪乱がなく水深が浅いプランクトンが豊富な開けた空間のパッチ数は1986年と2001年の比較で, 279パッチ増加したが, これらの面積は大幅に減少し, 平均パッチ面積は, この15年来269.76hm²減少した。以上分析した生息に適した自然環境の平均パッチ面積の減少は, すべてこの自然環境類型の破壊程度が進んだ現れである。パッチ数の減少を呈した自然環境類型は, 軽度の攪乱があり, 水深が浅くて魚類が少なく, 中程度の隠蔽物がある水域と攪乱がなくて無脊椎動物が少なく, 隠蔽物の低い自然環境類型であり, そのうち軽度の攪乱があり, 水深が浅くて魚類が少なく, 中程度の隠蔽物がある環境との面積比が絶え間なく増大し, 攪乱がなくて無脊椎動物が少なく, 隠蔽物の低い環境の面積比がやや減少し, これに相応して平均パッチ面積は増大した。

3.2.2 類型別レベルの景観異質性分析 生息に適した自然環境に対する異質性の分析 修正円周長と面積比, 双対数分數維 (fractal double log dimension), 集合度 (aggregation) とパッチ連結性 (connectivity between patch canroids) を含む四つの指数を図2に示す。各自然環境異質性指数およびその変化過程に大きな差が見られる。

景観レベルでは生息に適した自然環境の修正パッチ円周長面積比は一旦減少した後再び増加しており, 1986年2,207, 1996年1,862, 2001年1,950である。図2 aから見る事ができる

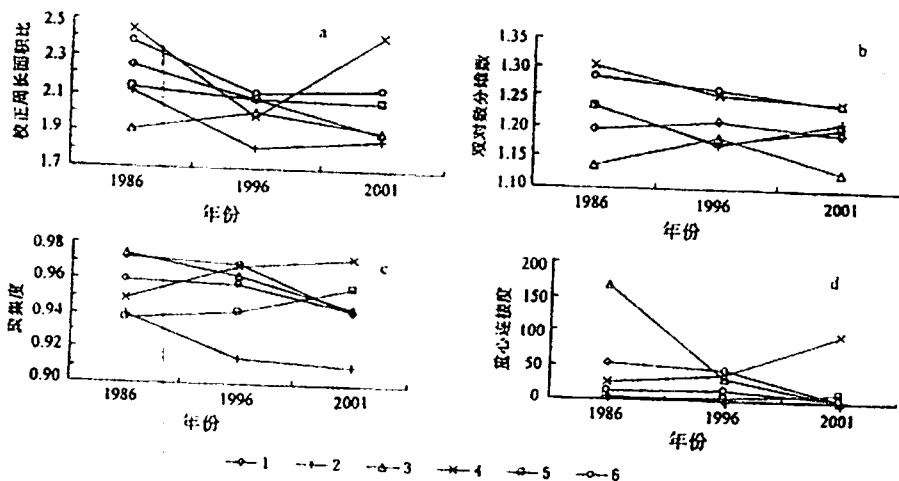


図2 1986～2001年黄河三角州におけるタンチョウの生息環境の類型特徴の変化指標

a. 修正パッチ円周長面積比 b. fractal double log dimension c. 集合度 d. パッチ重心連結性

①攪乱がなく水深が浅いプランクトンが豊富な開けた空間, ②軽度の攪乱があり, イネ科草本が密生し中程度の隠蔽物がある汽水域, ③軽度の攪乱があり, 水深が深く魚類が多く, 高い隠蔽物がある水域, ④軽度の攪乱があり, 水深が浅くて魚類が少なく, 中程度の隠蔽物がある水域, ⑤攪乱がなく無脊椎動物が少なく, 隠蔽物の低い潮間帯, ⑥軽度の攪乱はあるが水深が浅く植物がまばらに生え中程度の隠蔽物がある水域.

パッチ修正円周長面積比の変化は以下の通りで, 攪乱がなく水深が浅いプランクトンが豊富な開けた空間と攪乱がなく無脊椎動物が少なく, 隠蔽物の低い潮間帯のパッチ修正円周長面積比が15年間減少を示し, 軽度の攪乱があり, イネ科草本が密生し中程度の隠蔽物がある汽水域, 軽度の攪乱があり, 水深が浅くて魚類が少なく, 中程度の隠蔽物がある水域と軽度の攪乱はあるが水深が浅く植物がまばらに生え中程度の隠蔽物がある水域のパッチ修正円周長面積比は1986～1996年の間に一旦低下した, 1996～2001年の間にやや上昇傾向を示したが15年間総体的には減少しており, 軽度の攪乱があり, 水深が浅くて魚類が少なく, 中程度の隠蔽物がある水域のパッチ修正円周長面積比は各時期とも大きく, それぞれ2.45, 1.979, 2.424である. 以上パッチ修正面積比は各環境類型が減少している中で, 攪乱がなく水深が浅いプランクトンが豊富な開けた空間の減少幅が最も大きく, 15.79%に達している. 軽度の攪乱があり, 水深が深く魚類が多く, 高い隠蔽物がある水域のパッチ修正円周長面積比は始めに増加後減少するという経過をたどりその後多少上がっており, パッチが細長さを増している. 各自然環境類型のパッチ修正面積比は全て大きく, パッチの形状からタンチョウの生息に不利であることを示している. fractal double log dimension はパッチの形状を評価する指数で, 好適な自然環境の分維数は, 1986年の1.24から1996年の1.207, 2001年の1.195へと絶えず減少している. 類型レベルの変化から見ると, 軽度の攪乱があり, 水深が浅くて魚類が少なく, 中程度の隠蔽物がある水域の分維数は直線的にたえず減少し, 攪乱がなく水深が浅いプランクトンが豊富な開けた空間と攪乱がなく水深が浅いプランクトンが豊富な開けた空間の分維数は先に増大した後減少し, 軽度の攪乱はあるが水深が浅く植物がまばらに生え中程度の隠蔽物がある水域, および攪乱がなく無脊椎動物が少なく, 隠蔽物の低い潮間帯の分維数は初め減少し後増大している. 各類型別の変化過程は非常に大きな差があるが, 最終的にはこれらの分維数は全て減少している. そのうち減少幅の最も大きいのは軽度の攪乱があり, 水深が浅くて魚類が少なく, 中程度の隠蔽物がある水域で4.53%に達している. 1986と2001年, 好適自然環境中fractal double log dimensionが最大な

のはすべて軽度の攪乱があり、水深が浅くて魚類が少なく、中程度の隠蔽物がある水域で、それぞれ1.302と1.243であり、パッチの形状が複雑な証である。1986と2001年の分維数は最小ですべて攪乱がなく水深が浅いプランクトンが豊富な開けた空間でそれぞれ1.136と1.129である(図2b)。

好適自然環境景観レベルの集合度はそれぞれ1986年0.957, 1996年0.954, 2001年0.945と減少している。類型レベルでは集合度が減少の状況で、攪乱がなく水深が浅いプランクトンが豊富な開けた空間、軽度の攪乱があり、イネ科草本が密生し中程度の隠蔽物がある汽水域があり、集合度の増加している自然環境類型に、軽度の攪乱があり、水深が浅くて魚類が少なく、中程度の隠蔽物がある水域と攪乱がなく無脊椎動物が少なく、隠蔽物の低い潮間帯がある。もちろん集合度は増加しているものもあり、減少しているものもある。その幅はいずれも大きくない(図2b)。変化の幅が最も大きいのは、軽度の攪乱があり、イネ科草本が密生し中程度の隠蔽物がある汽水域で減少幅は3.09%で、変化の幅が最も小さいのは、軽度の攪乱はあるが水深が浅く植物がまばらに生え中程度の隠蔽物がある水域で減少幅は1.67%である。すべて言うならば、景観レベル、あるいは類型レベルでは適性自然環境の集合度の程度は低くない。

図2 dは各適性自然環境のパッチ重心連結性の変化を示す図である。図から見られることは各類型におけるパッチ重心連結性の変化は顕著で、攪乱がなく水深が浅いプランクトンが豊富な開けた空間、軽度の攪乱があり、イネ科草本が密生し中程度の隠蔽物がある汽水域、軽度の攪乱があり水深が深く魚類が多く高い隠蔽物がある水域と軽度の攪乱はあるが水深が浅く植物がまばらに生え中程度の隠蔽物がある水域のパッチ重心連結性は大幅に減少しており、そのうち減少幅の最大のものは、軽度の攪乱があり、水深が深く魚類が多く、高い隠蔽物がある水域による1986年の166.012より2001年の2.086で、軽度の攪乱があり、水深が浅くて魚類が少なく、中程度の隠蔽物がある水域と攪乱がなく無脊椎動物が少なく、隠蔽物の低い潮間帯のパッチ重心連結性は大幅増加し、それぞれ1986年の25.582と2.772より2001年の96.564と13.355に増加している。1986年にはパッチ重心連結性が最大なのは、軽度の攪乱があり、水深が深く魚類が多く、高い隠蔽物がある水域であり、最小なのは、攪乱がなく無脊椎動物が少なく、隠蔽物の低い潮間帯で、2001年時にはパッチ重心連結性の最大は、軽度の攪乱があり、水深が浅くて魚類が少なく、中程度の隠蔽物がある水域で、最小は、軽度の攪乱があり、イネ科草本が密生し中程度の隠蔽物がある汽水域であり、このパッチ重心連結性はわずかに0.460である。

3.2.3 景観レベルの景観指標変化分析 表8からSHDI, SHEIとEDEIは毎年上昇発展の状況と、DOMINとCONTAは年々減少していることが見られる。多様性指数は景観タイプの破壊程度を反映しており、Shannon多様性指数の上昇は、景観多様性を高め、景観破壊化の加速を意味している。優占度指数は多様性指数と対応し、これは景観類型多様性対景観最大多様性の偏差程度を表している。Shannon多様性指数とShannon均等度指数の上昇およびDOMIN優占度指数の減少はすべて黄河三角洲地区の適性自然環境内部の景観類型の多様性とパッチの均一性の増加を示し、これら景観中におけるパッチ類型分布の均一性が高いことを示している。CONTA伝播性指数の下降をを反映したタンチョウの生息に適した自然環境は年を追って喪失している状態で、タンチョウ

表8 黄河三角洲におけるタンチョウの
生息環境レベルの景観指標比較

年份	SHDI	SHEI	DOMIN	CONTA	EDEI
1986	1.496	0.681	0.701	2.101	0.53
1996	1.829	0.794	0.473	2.015	0.599
2001	1.873	0.852	0.324	1.68	0.73

SHDI: 多様性指数, SHEI: 均等度指数, DOMIN: 優占度指数, CONTA: 伝播性指数, EDEI: 周辺貢献率指数

の生息に丁度よい自然環境の面積が減少していることと符合する。

4. 討論

4.1 タンチョウの生息環境変化の原因探求 黄河三角州におけるタンチョウの生息に適した自然環境に変化が発生する主要な要因は人類活動の影響による。社会的発展により地域経済開発が進み黄河三角州地域の2001年の道路は1986年に比較して3225.06m増え、油井の数が1566基に増加し、これら人工建造物の増加は適正な自然環境の破壊が増大し、タンチョウの生存環境に厳しい負の影響を与えている。しかしながら、人類の活動がタンチョウの生息環境保護に不適当なことばかりではなく、中にはエビ・カニ養殖場、ヨシ田の開発などの人類活動によって、基本的な湿地の生態系の特徴を保持して、タンチョウの渡りと越冬時の水環境や食物を、一定の範囲と時間内に提供し、タンチョウを受け容れることができている。しかし、当然際限のない開発は湿地の生物多様性を喪失させ、最終的にはタンチョウの生息には不利となる¹⁾。

4.2 分析結果 黄河三角州におけるタンチョウの生息に適した自然環境の変化の主導的要因は人類活動が強まることで、水の状況変化をきたし、これが自然環境変化の大きな原因の一つである。以上総合的な分析により下記の結論を得た。

(1) タンチョウの生息に適した自然環境の面積は年を追うごとに小さくなっており、不適当な環境の面積が増大している。生息に適した自然環境の動態は大きい。

(2) 生息に適した自然環境の平均パッチ面積、平均パッチ円周長、パッチ重心連結性の減少は生息に適した自然環境の景観破壊程度が大きくなり、これはタンチョウの生存に大きな不利となる。修正パッチ面積円周比とfractal double log dimensionの低下は15年間パッチ形状の変わり行く姿を説明し、パッチが狭く細長くなる変化もゆっくりと進んでいる。

(3) タンチョウの生息に適した自然環境の大部分の類型面積比例が低下している勢いと適性自然環境の総面積の減少が一致しているなかで、軽度の攪乱があり、水深が深く魚類が多く、高い隠蔽物がある水域の面積比が少なからず増加の傾向にあり、しかも増加幅も非常に大きく、これも主に人類活動の影響で、人工灌漑が行われているヨシ田が増加していることによる。

(4) 適性自然環境内部の景観指標の説明。タンチョウの生息に適した自然環境が年と共に減少し、適性自然環境内部の景観類型多様性とパッチの均一性およびパッチの集合度などがある程度高くなり、適性自然環境内部の破壊が進んだ。

(5) タンチョウの生息に適した黄河三角州の自然環境の変化は質・量ともに低下することとなり、破壊の進行と生息に適した環境面積の減少は、タンチョウが使用できるパッチ間の距離がさらに遠くなり、低下する自然環境や外部からの攪乱に対応するタンチョウの能力の限界を越え、移動や拡散の障害となっている。

訳注

*1 442；文中には442とあるが、表6の計算では増加したのは、342パッチになる。筆者への問い合わせにより、印刷の誤りであるとの回答あり。

*2 ヨシ原の造成；中国では冬季にヨシを刈り取り、製紙原料として利用している。

* 翻訳に際して高木憲太郎氏のご助力を戴いた。