

霞ヶ浦における湖岸植生帯の長期的変遷 -蓮河原地区の例

LONG-TERM CHANGES IN LAKESHORE VEGETATION ZONE-AN EXAMPLE OF HASUGAWARA REGION IN LAKE KASUMIGAURA

宇多高明¹・三波俊郎²・石川仁憲³

Takaaki UDA, Toshiro SAN-NAMI and Toshinori ISHIKAWA

¹ 正会員 工博 (財) 土木研究センター理事なごさ総合研究室長兼日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科
(〒 110-0016 台東区台東 1-6-4 タカラビル)

² 海岸研究室 (有) (〒 160-0011 東京都新宿区若葉 1-22 ローヤル若葉 301)

³ 正会員 (財) 土木研究センター (〒 110-0016 台東区台東 1-6-4 タカラビル)

The long-term changes in lakeshore vegetation zone were investigated using an old map produced in 1883-84 and aerial photographs taken since 1947, taking Hasugawara region in Lake Kasumigaura as an example. This area is a part of the river delta formed by the tributaries of the past Sakura River under the action of obliquely incident waves. After the construction of the floodway of the Sakura River, sand supply was entirely lost, and the river deltas were begun to be eroded due to wave action. Detailed measurement of the lakebed topography and grain size distribution of lakebed materials shows that the lakeshore vegetation zone in 1985 was eroded up to 0.7 m below the mean lake level (Y.P.1.1 m).

Key Words : Kasumigaura, lakeshore vegetation, Hasugawara, river delta, wave reflection

1. はじめに

霞ヶ浦(西浦)は面積171km², 平均水深4mを持つわが国第二の規模を持つ湖である。近年, 霞ヶ浦では様々な人工改変の影響により湖岸植生帯や湖浜の消失が続いてきた。平井¹⁾²⁾³⁾は, 霞ヶ浦の湖岸低地・沿岸帯での土地・水域利用, 地形改変, および湖岸の景観写真を地形図(霞ヶ浦湖沼環境図)にまとめ, 沿岸帯では, 蓮田, 漁港・養殖施設, 砂利採取などの人為的な地形改変地が全体の45%に達し, それによって湖岸の植物群落地の良好な発達が阻害されたことを明らかにした。また, これらは, おもに戦前から1960年代までにかけて行われた大規模な湖沼干拓, そして1970年代以降の湖の総合開発に伴う新たな湖岸堤防の建設, 埋め立てや堀込み等によるさまざまな人為的な地形改変など, 湖岸での土地利用の高度化に関連しているとした。また, 平井³⁾⁴⁾は, 湖底でも航路確保のための浚渫や, 砂利採取を目的とした過度な掘削が行われていることを明らかにした。また宇多⁵⁾は, 平井が指摘した要因に加え, とくに風波と漂砂に起因する要因について湖岸各地での実態調査により調べるとともに, 空中写真や古地図をもとにした湖岸の変遷調査を行った。この

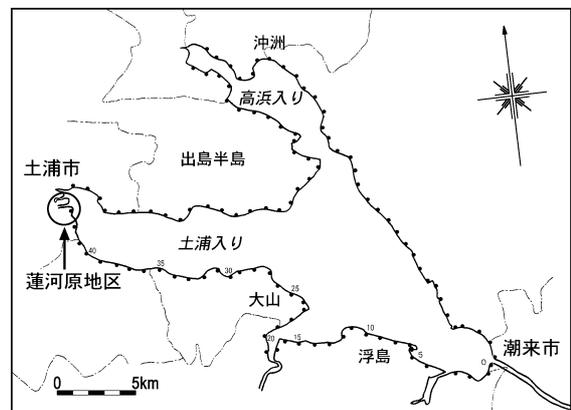
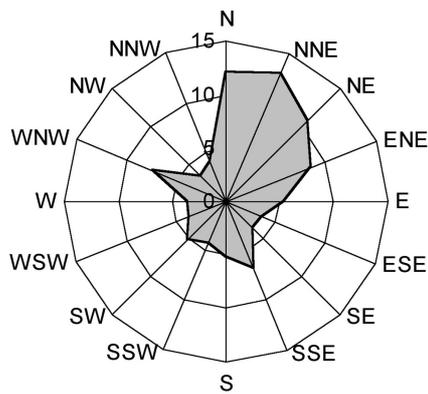


図 - 1 霞ヶ浦の土浦入りに位置する蓮河原地区

ような研究とは別に, 実際に霞ヶ浦では2000年以降湖岸植生帯の保護策が取られるとともに, 失われた湖浜の復元も進められつつある⁶⁾⁷⁾⁸⁾。霞ヶ浦土浦入りの最奥部に位置する蓮河原地区でも湖岸植生の消失が進んでいるが, 他の地区と同様, 湖岸植生帯の消失原因は十分明らかにされておらず, 一般的要因が指摘されているのみである。このことから, 本研究では, 蓮河原地区についてまず陸軍迅速測図や空中写真をもとに湖岸線の長期的変遷を調べ, 次いで詳細深淺測量や底質採



方位別日最大風速の出現頻度(%)
湖心観測所1978~2004年

図-2 霞ヶ浦の湖心観測所における風配図

取を行い、植生帯の消失原因について考察し、併せてこの種の調査に本研究の方法が有効なことを明らかにする。

2. 蓮河原地区の概況

蓮河原地区は、図-1に示すように東西に細長い土浦入りの最奥部に位置する。このため蓮河原地区への作用波の入射方向は主にE方向となる。図-2は、霞ヶ浦中央部に位置する湖心観測所における1978~2004年の日最大風速の風向頻度である。湖心での卓越風向はN~NEである。これらと比較すると、頻度は下がるものの、SSE~SWとWNW方向の風向頻度も相対的に高い。これらのうち北寄りの風は出島半島によって遮られるため蓮河原地区での波浪の発達に関与せず、蓮河原地区での波浪の発達に大きく寄与するのはE~SSE方向である。同時に、蓮河原地区の湖岸線への法線方向は平均でN86°Eであることから、E~SSE方向の風に起因して発達した波はいずれも北向きの沿岸漂砂を発生させる。湖心観測所の観測結果より日最大風速の方位別平均値を求め、蓮河原地点における吹送距離より、宇多⁹⁾の与えた式より日最大風速を用いて有義波高を推算すると、有義波高は0.27 m (周期2.4 s) となる。

3. 陸軍迅速測図と空中写真による長期的湖岸線変化調査

蓮河原地区では近年湖岸植生帯の後退が著しく、その保護が課題となっている。この場合、まずこの地区の過去からの湖岸線の変遷を明らかにすることが必要である。ここでは明治期作成の陸軍迅速測図を基本としつつ、大きな地形改変が行われた、過去約50年間の湖岸変遷を空中写真の比較に基づいて調べた。図-3(a)は明治16~17(1883~1884)年作成の陸軍迅速測図である。人為的改変がほとんど行われていなかった当時

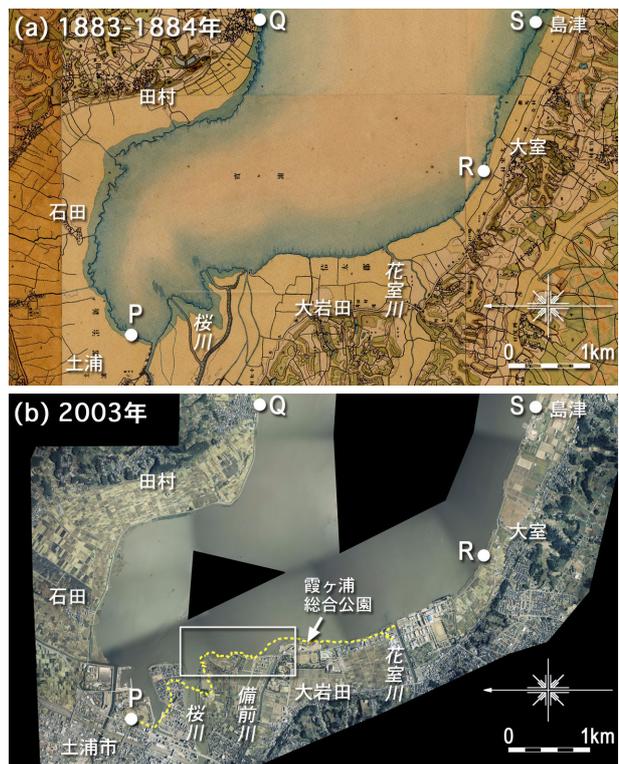


図-3 陸軍迅速測図と2003年の空中写真

の湖岸状況を示す。現在の土浦市の東に延びる湖岸線PQ間では、入り組んだ複雑な湖岸線となっていることから、当時PQ間はヨシなどの植生帯に覆われていたことが分かる。同様に、南部の大室地区以東のRS間も凹凸の著しい湖岸線を有することから湖岸は植生帯に覆われていたと判断できる。これと比較して、東または南東方向からの風波の作用を直接受ける大岩田および花室川河口周辺では、湖岸線が直線状であって相対的に植生帯が広がりにくい条件にあったと推定される。また現土浦市のすぐ南には桜川が流入し、河口部河道は3つに分かれ鳥趾状三角州を形成していた。このような三角州は、河川流による土砂輸送力が波による土砂輸送力より大きい場合にのみ形成されるが、2.で述べたように桜川河口付近での波のエネルギーフラックスが北向きであることを受けて、当時の桜川の流路は東側からの波浪の作用を避けるよう北東方向へと伸びていた。

2003年撮影の空中写真をもとに、図-3(a)と同一区域を切り出したのが図-3(b)である。120年間に湖岸線は大きく変貌した。土浦市の東にある石田の集落は昔ながらの位置にあるが、そのほかの地域は水田および蓮田に変わり、その外側が湖岸堤によって囲まれた。最も大きな変化が起きたのは土浦市周辺である。旧桜川の北流と南流の間に現桜川が開削され旧北流は埋め立てられた。また旧南流も大部分で埋め立てが進んだ。また、図-3(a)のPQ, RS間の凹凸の著しい湖岸線は湖岸堤の建設により直線化された。また大岩田の湖岸線突出

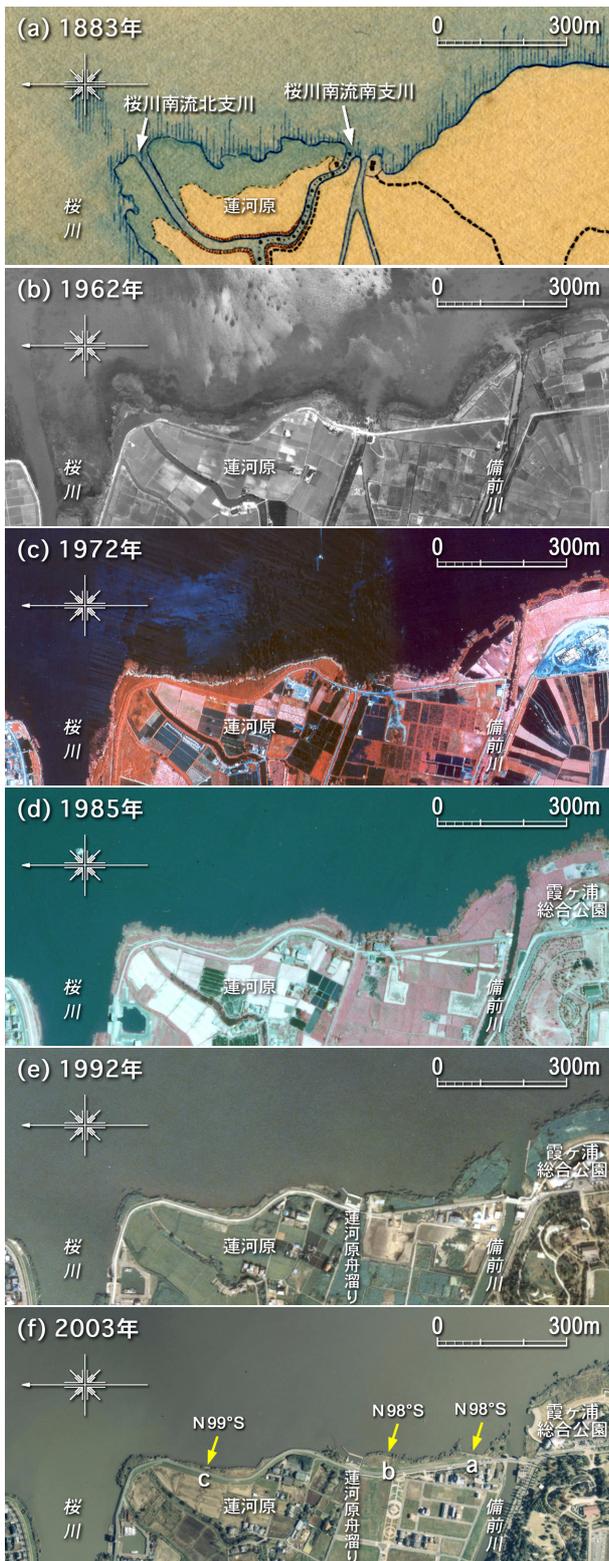


図-4 陸軍迅速測図と空中写真にもとづく湖岸地形の変遷

部には霞ヶ浦総合公園が造られたが、破線で示す明治期の湖岸線と比較すると、公園北側では備前川の開削のために、また南側でも掘削により湖岸線が後退した結果、霞ヶ浦総合公園部分が突出部として取り残された。



図-5 蓮河原地区のポケットビーチaの状況

次に、図-3(b)に矩形で示す蓮河原地区について、空中写真から同一区域を切り出して拡大し、湖岸線の詳細な変化を調べた。まず図-4(a)は陸軍迅速測図である。当時この付近は荒地であり、そこに大きく蛇行し分枝した桜川南流北支川と南支川が流入し、鳥趾状三角州を形成していた。1962年(図-4(b))では、現桜川が開削され旧桜川南流南支川は埋め立てられ湖岸堤が建設された。しかし旧南流北支川の河口沖には旧三角州の一部が浅瀬として残されていることが分かる。また備前川が新たに開削された。このように1962年には現在の湖岸線の原形ができて上がった。1972年(図-4(c))では、備前川河口右岸に国民宿舎(1983年以降は霞ヶ浦総合公園)が建設された。この写真は赤外映像のため植生帯が明瞭に写されているが、蓮河原地区の湖岸堤前面には植生帯が広がっていたことが見て取れる。1985年(図-4(d))では、大部分の地区では1972年当時と湖岸線には大きな変化がないものの、桜川河口右岸に掘り込み式舟溜まりが建設された。1992年になると、図-4(e)のように蓮河原地区の植生帯が急速に狭まった。また湖岸には蓮河原舟溜まりが建設された。2003年には図-4(f)のように蓮河原地区の植生帯の消失区域がさらに広がった。また備前川河口左岸にあっては砂利採取などの人為的改変が行われ、湖岸線が大きく後退した。その一方で霞ヶ浦総合公園では小規模なポケットビーチが建設された。

2003年の空中写真(図-4(f))に示すa, b, cには狭いポケットビーチがある。例えば、図-5はポケットビーチaを北向きに撮影したものであるが、北端にはヨシ帯があり、このヨシ帯が沿岸漂砂に対する固定境界となり、ポケットビーチは静的安定状態にある。このことから、各ポケットビーチの midpoint において汀線への法線を引き、その方向角を読み取ると、図示するように方向角はほぼ $N98^{\circ}S$ となる。この角は蓮河原地区に入射する卓越波の入射角を与えるが、このように平均湖岸線に対して斜めから波が入射する点は、2.での推定をよく裏付けている。

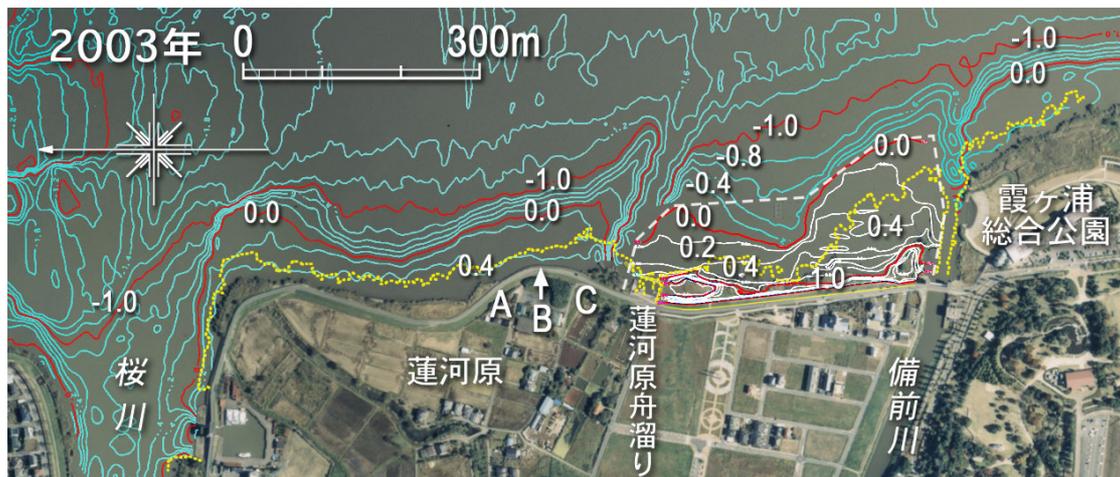


図-7 蓮河原地区の植生帯分布と湖底地形

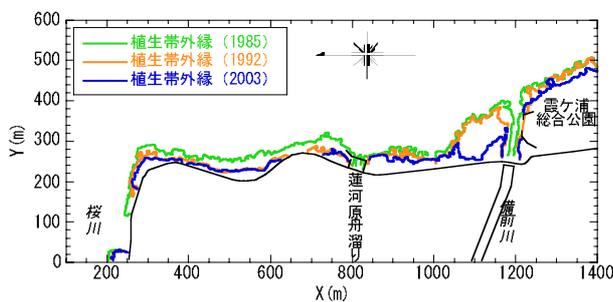


図-6 蓮河原地区における植生帯の分布域の変化



図-8 蓮河原地区のA点付近の植生帯の消失

4. 蓮河原地区における植生帯の後退と湖底地形

図-6は1985年から2003年までの植生帯外縁線の変遷を示す。備前川河口左岸では植生帯が最大100m後退し、蓮河原地区でも最大60mの後退が起きた。これらのうち、備前川河口左岸における植生帯の後退は掘削に起因する。蓮河原舟溜りの南側隣接部では埋め立てが行われたこともあり湖岸線変化は見られないが、植生帯の後退はこの舟溜りから桜川河口までの区域で集中的に起きている。蓮河原地区に広い植生帯が存在した1985年と、2003年の植生帯域を比較するとともに、2002年と2006年測量の深浅図と重ね合わせることで、植生帯の変化と湖底地形の関係をまとめたのが図-7である。なお図中の黄色点線が1985年の植生帯外縁、白い破線で示す区域は2006年10月実施の測量による深浅図であり、それ以外は2002年3月の深浅図である。

まず、霞ヶ浦総合公園の沖合にはY.P. 0.2 mから-0.8 mに至る湖底急斜面があり、0.2 m以浅の平坦面と顕著な対照を示す。備前川河口沖には掘削されてY.P. -1 m付近に至る細長い溝があるが、この北側でも霞ヶ浦総合公園沖で突出した等深線が緩やかに北向きに延びている。この浅瀬の陸側では1985年には植生帯が広く分布していたが、2003年までに植生帯は最大100 mも後退した。備前川河口沖の人工改変の影響の強い部分を

除けば、植生帯の外縁線は現況のほぼY.P. 0.4 mの等深線と一致している。この特徴は、この地点以北の蓮河原舟溜りと蓮河原地区でも同様に成立している。したがってY.P. 0.4 m (平均水深0.7 m) はこの地区における波による地形変化の限界水深 (h_c) にほぼ近く、それ以浅が波の作用で侵食されたと推定される。さらに現蓮河原舟溜り付近には旧桜川南流南支川が流入していたが、細い航路部分を除けば、この舟溜り沖にも等深線の突出部が残されている。また旧桜川南流北支川の流入部では、Y.P. 0 mの等深線を境として、Y.P. 0 m以深には急斜面があるのに対し、それ以浅には湖棚が広がり、湖底には旧河口デルタ地形が明瞭な形で残されている。この河口デルタの北側斜面の勾配は1/8と非常に急であって、桜川の流路へと落ち込んでいる。旧河口部ではN98°S方向から卓越入射波が作用し、全体に北向きの沿岸漂砂が発達するため北側に大きく歪んだ河口三角洲が形成され、波の作用による侵食作用を受けて h_c を限界として湖棚が形成され、侵食土砂が北側に押し込まれた結果湖底の急斜面が形成されたと考えられる。また旧桜川南流北支川の河口部と、蓮河原地区の湖岸線の凹状部では、1985年以降植生帯外縁線がほぼ平行に後退している。北向きの沿岸漂砂の卓越を考

慮したとき、蓮河原舟溜りはコンクリート構造物であるから南側の固定境界を与える。一方、旧南流北支川の河口部では河川からの土砂供給が途絶え、かつ旧南流南支川から供給され、北向きの沿岸漂砂によって運ばれる土砂の供給も途絶えたため、舟溜り以北の区域では侵食が進み、結果的に植生帯の後退が起きたと考えられる。

一般に、護岸と植生帯との接点では護岸からの反射波が植生帯に直接作用することにより局所的に植生帯の喪失が助長される⁵⁾。蓮河原地区でも図-7に示すようにAC間では湖岸堤が直接波に曝されており、湖岸線が最も東に突出した位置をBとすればAB間ではN98°S方向から入射した波は北側に反射するから、上記反射波による植生帯の後退が起きたと考えられる。図-8は図-7のA点の湖岸状況を示すが、植生帯南端部の護岸との交点付近は護岸からの反射波の作用により現況でも植生帯の後退が著しい。

5. 湖岸地形の詳細分析

図-9には2006年10月の深淺測量によって得られた詳細地形図を示す。測線間隔20 mで22本の測線が設定され、沿岸方向に420 m区間の湖岸地形が測量された。測線No.1は備前川河口に隣接しているが、その近傍ではヨシの密生した植生帯が突出している。突出部の中央には湿地が残され、それを囲む外縁部の標高が相対的に高まっている。この植生帯の北側の測線No.4とNo.6の間には、延長約40mの狭い前浜があり、その沖には平坦な湖底面が広がる。沖合の平坦面は北側では急に狭まり、測線No.9では逆に沖合から湾入地形が迫り急勾配となっている。

図-10は測線No.5の縦断形を示す。前浜勾配は約1/13であり、汀線から20 m沖合でもY.P. 0.5 mと浅く沖合は平坦である。図-11には測線No.5に沿う d_{50} の水深方向分布を示すが、 d_{50} はY.P. 0.8 m以深では約0.3 mmの細粒となるのに対し、Y.P. 0.8 m以浅では粒径が急激に大

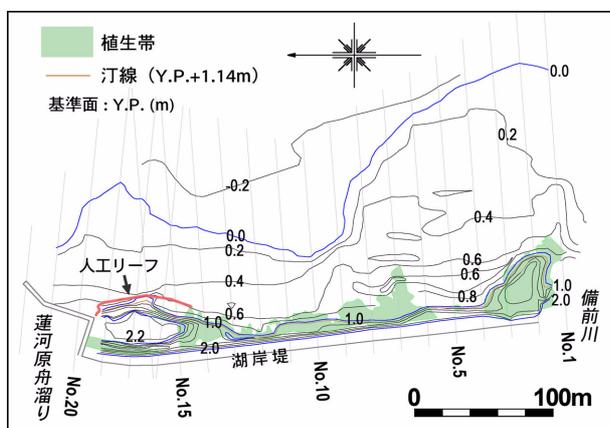


図-9 蓮河原地区の詳細湖底地形

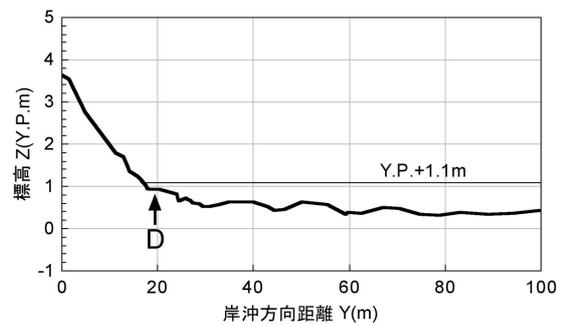


図-10 測線 No.5 の縦断形

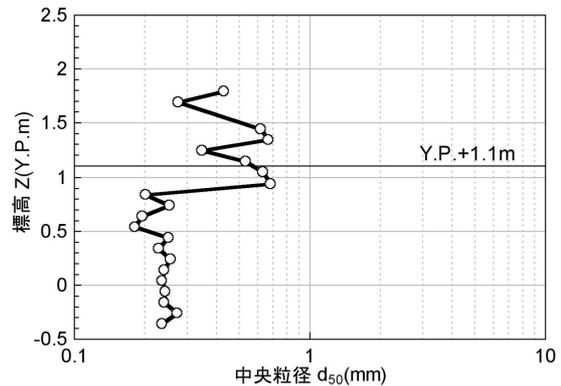


図-11 測線 No.5 における d_{50} の水深方向分布

きくなり、汀線付近では約0.7 mmの粗粒となる。図-10に示したNo.5の縦断形上に粒径変化点Dを示すが、汀線から次第に勾配が小さくなり、沖の平坦面と重なる点がD点である。粒径が汀線付近の粗粒から水深とともに減少し、沖合で0.2 mm程度の細粒となる限界の水深は、ほぼ h_c を与える⁹⁾が、図-11から h_c はほぼY.P. 0.5 m (平均水深0.6 m)にあると判断できる。この値は、植生帯外縁線の後退状況と水深の関係から推定した h_c =Y.P. 0.4 mとほぼ一致している。

霞ヶ浦では2000年以降湖岸植生帯の緊急保全対策が行われており、その中で消波対策工として人工リーフが使われている⁶⁾。蓮河原地区でも同種の施設が過去に造られた。図-9の詳細測量区域の北端部に位置する測線No.17では、植生帯外縁を取り囲むようにして捨石製の人工リーフが設置されている。図-12, 13に示すように、人工リーフは、汀線のわずか沖に平均水面付近まで捨石を並べて造られているが、その岸側ではY.P. 0.8 mまでの深みが形成されている。このタイプの人工リーフでは、高波浪時越波が生じるが、越波による洗掘と、人工リーフを超えて岸側に流れ込んだ水が沿岸方向に流れる際の侵食作用によって深みが形成されたと推定される。これより、人工リーフを用いて消波を行い、湖岸を安定的に防護するには、その岸側に幅数mの水路を残す必要があると考えられる。この手法はヨシ帯を囲む防護手法として今後利用可能と考えられる。



図 - 12 蓮河原地区にある捨石製の人工リーフ

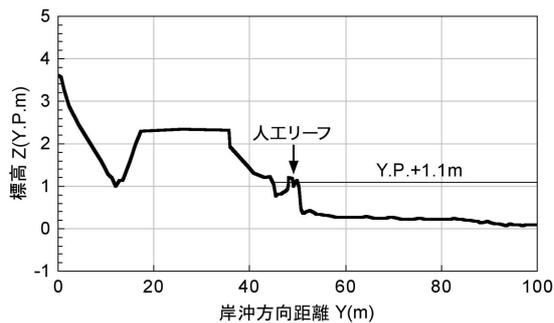


図 - 13 人工リーフを横断する測線 No.17 の縦断形

6. まとめ

明治期作成の陸軍迅速測図と戦後撮影の空中写真をもとに、土浦入り最奥部に位置する蓮河原地区における湖岸の変遷を調べた。検討結果によれば、蓮河原地区では、明治期には旧桜川南流の南支川・北支川からの供給土砂が湖内に堆積して鳥趾状三角州を形成していたが、新川開削に伴い旧川からの土砂供給が途絶え、これにより北支川・南支川河口三角州の縮小が始まった。この現象は琵琶湖における野洲川放水路開削後の旧南流・北流河口部で起きた現象¹⁰⁾と同一である。一方、蓮河原地区にある小規模なポケットビーチの安定汀線の方向角より、卓越入射波の方向はN98°Eと推定できるが、この入射条件の下では、蓮河原地区において北向きの沿岸漂砂が生じる。従って旧桜川南流の南支川からの流出土砂も北側へと沿岸漂砂によって運ばれていたが、それも途絶えて蓮河原地区で侵食が進んだと考えられる。結果的に護岸が直接波に曝される条件となったことにより、護岸からの反射波が植生帯に斜

めに作用することになり、植生帯の消失が促進されたと考えられる。以上より、旧桜川河口部では従来から言われていた湖岸植生帯の消失要因に加え、河川からの流出土砂量の枯渇もまた湖岸植生帯の消失要因になったと考えられる。本研究で示したように、湖岸線の後退や植生帯の消失要因には長期的な地形変遷も深く関与したと考えられることから、現況の湖岸状況の詳細調査のみでなく、長期的・広域的視点に立った検討も大事と考える。また今後の植生帯保全においては景観に大きな影響を及ぼさずに消波を行う手法として人工リーフが考えられるが、その適用にあたっては岸側に打ち込まれる湖水をうまく排水可能な水路を造ることが有効なことが現地状況から明らかになった。

謝辞：なお、本研究に際しては、国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所より測量データを提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 平井幸弘：湖岸低地および沿岸帯の環境変化，アーバンクボタ，32，pp.64-65，1993.
- 2) 平井幸弘：海跡湖の環境変化，西川治監修「アトラス日本列島の環境変化」，朝倉書店，pp.106-107，1995.
- 3) 平井幸弘：湖沼の開発利用と環境保全，「水辺環境の保全と地形学」第四章，日本地形学連合，pp.86-111，1998.
- 4) 平井幸弘：「湖の環境学」，古今書院，p.196，1995.
- 5) 宇多高明・木暮陽一・銭谷秀徳・三波俊郎・石川仁憲：霞ヶ浦における植生帯と砂浜の消失要因の検討，地形，Vol.29，pp.187-201，2008.
- 6) 宇多高明・木暮陽一・銭谷秀徳・三波俊郎・石川仁憲：湖浜安定化から見た霞ヶ浦湖岸植生帯緊急保全対策の評価，水工学論文集，第52巻，pp.1213-1218，2008.
- 7) 宇多高明・木暮陽一・平野一彦・大内香織・三波俊郎・熊田貴之：霞ヶ浦浮島地区における湖浜再生に関する検討，水工学論文集，第51巻，pp.1325-1330，2007.
- 8) 宇多高明・木暮陽一・銭谷秀徳・熊田貴之・三波俊郎・石川仁憲：霞ヶ浦天王崎における湖浜再生に関する検討，水工学論文集，第52巻，pp.1219-1224，2008.
- 9) 宇多高明：「日本の海岸侵食」，山海堂，p.442，1997.
- 10) 宇多高明・吉田隆昌・西島照毅・富士川洋一：琵琶湖の野洲川放水路の開削に伴う旧河口周辺での湖浜変形，地形，Vol.16，pp.157-175，1995.

(2008.9.30 受付)