

ベトナム中部フエラグーン域における 1999 年洪水後の急激な環境変化

平井幸弘¹・グエン ヴァン ラップ²・ター チ キム オーン²

Rapid Environmental Changes after the Flood in 1999 in the Hue Lagoon Area of the Middle Vietnam

Yukihiro Hirai¹, Nguyen Van Lap² and Ta Thi Kim Oanh²

Abstract: A big flood disaster struck the Hue lagoon area of the Middle Vietnam in the November 1999. More than 700 people were killed by very high flood both in the riverside and littoral lowlands, and killed by many debris flows in the mountain area. In the lagoon area the water level reached to 4 m high from the sea level, which caused washout of the sandbar or the barrier beach between the lagoons and the sea. Consequently some former inlets of the lagoon opened again and rapid coastal erosion has occurred in each collapsed places.

The purpose of this study is to show the factors of the washout of the sandbar or the barrier beach, and to know the mechanism of the rapid coastal erosion after the flood. The authors collected and compared three kinds of topographic map issued in 1950, 1965-68 and 1990s, and three kinds of remote sensing images made by Landsat 7 ETM data taken before and after the flood.

The trigger of the flood was the heavy rainfall more than 2000 mm in a week, but the background of the washout is the bad drainage through the narrow inlets at the flooding time, and the continuous coastal erosion from 1960s in the whole area of this coastal zone. And the main cause of the rapid coastal erosion after the flood is the occurrence of some depression of 5 m or more in depth, 400-1000 m in length, 100-250 m in width at the offing of the washouts. The beach sand moved into the depression from the northwest to the southeast by the winter monsoon from the north or northeast. So northwestern beach were eroded so rapidly in the last 4 years just after the flood.

Key words: big flood, coastal erosion, coastal lagoon, washout of sandbar

はじめに

筆者の一人である平井はこれまで、地球温暖化による海面上昇の影響予測と評価について、主として東南アジアのタイおよびベトナムの海岸地帯に位置し海と連結しているラグーン地域を対象として研究

を行ってきた(平井, 1995, 1999, 2000, 2001, 2002; Hirai, 2000, 2001, 2003; Hirai *et al.*, 1999).

一般にラグーンおよびその周辺地域では、軟弱な堆積物から構成される標高数 m 以下の湖岸低地やデルタ、砂州などの低平地が広がっている。そのため、将来の海面上昇によって、低地への浸水や湖岸・

¹ 専修大学文学部 Department of Geography, Senshu University

² ベトナム国立自然科学技術センター地理学副研究所 Sub-Institute of Geography, Vietnam National Center for Natural Science and Technology

海岸での浸食、また洪水時の湖水位のさらなる上昇や湛水期間の長期化など、自然災害の発生や深刻化が懸念される。また、海面上昇によって湖水の塩分濃度の上昇も予測され、それに伴って現在の汽水域が縮小あるいは消滅して、ラグーン内における生態系の変化や生物多様性の喪失がもたらされる。さらに地下水への塩水侵入によって、住民の生活・灌漑用水への悪影響なども心配される (Mimura and Harasawa, 2000)。

タイ南部のソクラー湖および周辺地域での海面上昇の影響予測評価では、浸水・水没に関して、ラグーンに注ぐ主要河川のデルタ地帯を中心に広い範囲への影響が予測された。とくにソクラー湖南岸では、従来の低湿地や淡水湿地林(主にメラルカ林)地帯にエビ養殖池や都市的施設が広がっており、今後そのような新しい土地利用を伴う社会・経済的变化に注目する必要があることを指摘した (平井, 2000, 2001; Hirai *et al.*, 1999)。また海岸の浸食については、すでにソクラー湖の海岸地帯で過去 10~20 年間に数 10 m オーダーで砂浜が浸食されており、今後海面上昇に伴ってさらに激しい浸食が進むことが予測された。とくに従来海岸や湖岸にあったマングローブやメラルカ林が伐採されエビ養殖池などが造成されたところは、海岸浸食に対して脆弱になっている点が問題であった。また湖岸の水田地帯でも、急速にエビの養殖池への転用が進んでおり、その一部ではすでに池の堤防が崩壊している所もある。また、海岸の砂州上に位置するソクラー市では、淡水レンズとして存在する地下水が、海面上昇によって縮小・消滅するおそれがあることも指摘された (同上)。

すなわちソクラー湖地域では、海面上昇に対してさまざまな深刻な影響が懸念され、その影響を十分に考慮した地域開発や自然災害、とくに洪水等への対応が求められる (平井, 2002)。

そのような中、1999 年 11 月、ベトナム中部の海岸地帯で約 1 週間に 2000 mm を越える大雨によって、死者合計 711 人、行方不明者 233 人、被災者 100 万人以上、被害総額 31 億 3500 万ドルの大災害が発生した (松本, 2002)。なかでも、世界遺産に指定されているグエン (Nguyen) 王朝王宮跡のあるフエ (Hue) では、年平均降水量 2868 mm の 80% に相当する 2294 mm の豪雨となり、テュアティエン=フエ (Thua Tien-Hue) 省全体で死者 372 人、流出・全壊家屋 21 万戸であった。とくにフエの海岸地帯に広がるラグーン地域では、湖水位が最高 4 m まで上昇

し、ラグーンと海とを隔てる砂州が複数箇所で決壊した。そのため海岸地帯の集落では、家屋の倒壊や流出、溺死者の発生など大きな被害となった (平井ほか, 2001)。このような物的・人的に大きな被害をとまなう砂州の決壊は、本地域においては 1953 年の洪水以来 46 年ぶりの出来事であった。しかも今回の洪水では、集落・耕作地への浸水や家屋の倒壊・流出など直接的な被害だけでなく、洪水後に海岸地帯で激しい浸食が発生・進行し、砂州・砂丘上の家屋が多数倒壊し、残った集落でも飲用としている井戸水への塩水混入という深刻な問題も起こっている。

1999 年の洪水災害そのものについては、これまで主としてベトナム政府によって調査や被害の復旧がなされた。しかし、上述のような洪水後の深刻な環境問題については、現在調査が始まったばかりで、被害の補償や対策などはまだ十分には行われていない。一方これまで水田耕作が主であったラグーンの湖岸地帯では、1990 年代後半とくに 99 年の洪水以降、大規模なエビ養殖が急速に広まっている。これは、直接的には洪水後にラグーンの塩分濃度が一時的に上昇したことや、水田に海水が侵入し耕作放棄せざるを得なかったことも一つの要因であるが、背景には本地域における政府の地域経済の開発計画が深く関連している。

ところで IPCC (Intergovernment Panel on Climatic Change) は、地球温暖化によって海面水位が今後 100 年間で 9~88 cm 上昇すると予測している (IPCC 編, 2002)。そのような状況の中、海と湖とが脆弱な堆積物からなる低平な砂州で分かれたラグーン地域では、将来海面上昇によって上のような洪水や砂州の決壊、海岸浸食の激化など突発的な大災害が発生する可能性も高くなると予想される。

そこで本稿では、まず 1999 年の洪水をきっかけにしてトゥアティエン=フエ省のラグーン地域において、具体的にどのような自然および社会・経済的变化が起こったのかについて、洪水後 4 年間の現地調査とこれまで収集した資料から明らかとなった事実を中心に報告する。そして今後の海面上昇によるラグーン地域への影響を考慮した上で、本地域における将来の洪水災害の予測を行う。

なお、現地調査はテュアティエン=フエ省科学技術環境研究所のミン氏 (Mr. Mieng) の協力のもとに、計 5 回 (2000 年 3 月, 2001 年 2 月, 2002 年 2 月, 2003 年 3 月および 12 月)、それぞれ 3~5 日間行った。また今回収集・使用した主な資料は、過去の 3 時期に作成された 1/5 万地形図 (1950 年, 1960 年代, 1990

年代), および洪水前後の3時期に撮影された Landsat 7 ETM センサーによる画像データ(1999年9月1日, 2000年11月6日, 2003年4月21日), そしてベトナムでまとめられた報告書類である。

研究対象地域の概要

ベトナムの海岸地帯は, 北部の紅河デルタと南部のメコンデルタおよびその間に位置する中部地域に分けられる。このうち中部地域は, タンホア(Than Hoa)省からビントゥアン(Binh Thuan)省までの, 南シナ海(ベトナムでは「東海」と呼称される)に面する南北約1500 kmの範囲で, 海岸より50~200 km内陸には標高1500~2000 mのベトナム南部まで及ぶ長大なアンナン(ベトナムではチュオン・ソン(Truong Son))山脈が迫っている。このアンナン山脈は, 一般に東斜面(ベトナム側)が急で西斜面(メコン川流域)は緩傾斜となっている。そのベトナム側斜面では, 山脈の主方向と直行するように東西方向に延びる山塊が数カ所で海岸まで達しているため, 南北に細長い中部の海岸平野はいくつかに分断されている。

このうち中央付近のフエとダナン(Da Nang)の間にあるハイヴァン(Hai Van)ーバックマー(Bach Ma)山塊は, 交通の地形的障害であるとともに気候学的にも顕著な境界となっており, ここを境にベトナム中部は北側と南側に分けられる。しかし社会経済的には, ハイヴァン峠をはさむ北側のクアンチ(Quang Tri)省・トゥアティエン=フエ省と南側のダナン市およびクアンナム(Quang Nam)省までの地域は, 1994年以降中部ベトナムの中核地帯形成プロジェクトで経済統一圏として位置づけられている(Le Ba Thao, 1997)。現在, このハイヴァン峠の下に, 日本の円借款および世界銀行の融資によって延長6.3 kmの道路トンネルが建設中で, 2004年12月の完成後には現在車で約1時間のところが約6分に短縮される。

一般的にベトナム中部の海岸平野では, アンナン山脈東斜面に発する河川が幅十数 kmの沖積平野を作っており, 海岸には幅数 kmの砂丘とその内陸側にラグーンや入り江が発達している。今回の研究対象地域であるトゥアティエン=フエ省の海岸平野でも, 北から順にオーラウ(O Lau)川, フオン(Huong)川・ボー(Bo)川, ノン(Nong)川, チュオイ(Truoi)川, カウハイ(Cau Hai)川によって幅約15 km, 長さ約80 km, 面積約900 km²の平野が形成されている

(図1)。これら5河川の合計年間流出量は5171 km³で, そのうち約80%がフオン川からである(DSTE, 1998)。とくに雨期と台風期には流量が多く流れが早いために, 大量の堆積物が下流の海岸平野まで運搬され, その年間流出土砂量は62万トと推定されている(DSTE, 1998)。逆に乾季には, 塩水が平野の奥深く, 例えばフオン川の場合は河口から約30 km上流まで侵入する(DSTE, 1998)。

平野に流入する河川の上流域は標高約1200~1700 mの山地で, 最高点は北部のドンガイ(Dong Ngai)山1774 m, 南部のヌイマン(Nui Mang)山1712 mである。これらの山地の平野よりの標高300 m以下には丘陵地が広がり, さらにその先には標高20~30 mと標高5~10 mの上下2段の更新世の段丘地形が発達している。いずれの段丘面も, 最上部は厚さ5~10 mのダナン(Da Nang)黄色砂(上部更新統)と呼ばれる粘土・シルト混じりの中粒砂層に覆われている(Geological Survey of Viet Nam, 1996)。これらの更新世段丘と海岸の間には, 標高5~10 mの浜堤平野が2列発達し, いずれも厚さ3~6 mのナムオー(Nam O)白色砂(下部完新統)と呼ばれる良く円磨・淘汰された海成-風成の石英からなる細砂に覆われている(Geological Survey of Viet Nam, 1996)。1/20万地質図「ホンホア-フエ-ダナン」では, 2列の浜堤平野を区別していないが, 地形的には以下のように異なる特徴を有するので, 本稿では内陸側浜堤平野と海側浜堤平野とに区別する。すなわち内陸側浜堤平野は幅2~8 kmと広く, 周辺部では小さな谷によって開析が進み, 一部でナムオー白色砂層の下位にダナン黄色砂が認められる。これに対し, 海側浜堤平野は幅1~3 kmと狭く, その最も海岸よりには標高が最高30 m以上に達する砂丘が発達している。

山麓の更新世段丘面と内陸側浜堤平野との間には, 幅約5 km, 標高3 m以下のオーラウ川, フオン川・ボー川, ノン川, チュオイ川の作る氾濫原が広がっており, 中央部ではフオン川・ボー川が作った自然堤防が良く発達している。氾濫源の東側では自然堤防はほとんど見られず, 標高0 m以下の干拓地も多い。内陸側浜堤平野と海側浜堤平野の間には, 海岸線と並行するように延長約70 km, 幅1~最大約10 km, 平均深度1.5~2.0 m, 最大深度4~5 mの複数のラグーンが連なっている。このラグーンは全体としてタムジャン-カウハイ(Tam Giang-Cau Hai)ラグーンと呼ばれ, 総面積248.76 km²のベトナム最大の湖で, 日本の霞ヶ浦(167.6 km²)の約1.5

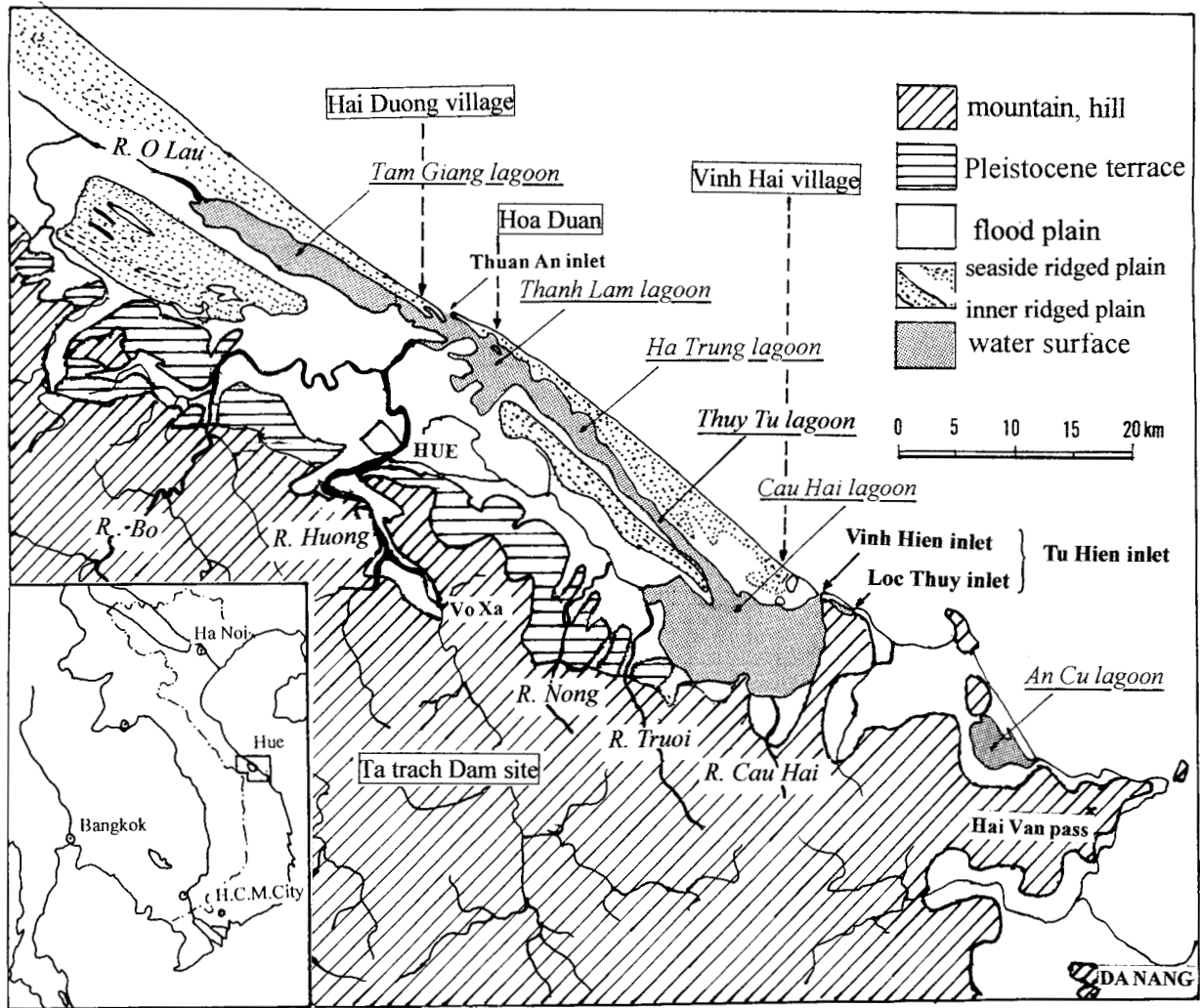


図1. タムジャンーカウハイラグーンの位置および地形の概要
 Fig. 1. Location and geomorphological map of Tam Giang-Cau Hai lagoon area

倍の広さを有する (DSTE, 1998). 地元では一連のラグーンを、北東側からタムジャン、タンラム (Thanh Lam)、ハトゥラン (Ha Trung)、テュイトウ (Thyu Tu) およびカウハイの5つのラグーンに分けて呼んでおり、中央のフォン川河口沖合いのトゥアン (Thuan An) と、東南部のトゥヒエン (Tu Hien) の2カ所の湖口で外海とつながっている (図1). なおこの2箇所の湖口は、長期的に安定したものではなく、これまでその位置は自然および人為的な作用によって変遷してきた。それについては、次章で詳しく述べる。

タムジャンーカウハイラグーンの湖口の変遷

タムジャンーカウハイラグーンでは、少なくとも陳 (Tran) 王朝 (1225~1400年) の初期、元軍のベト

ナム侵攻時 (第1次 1258年, 第2次 1284-85年, 第3次 1287-88年) には、現在のカイハイラグーン北東端のテュヒエン湖口だけが開いていた (MSTE, 2001). この時代には現在のトゥアン湖口は存在せず、フォン川は山麓の更新世段丘と内陸側浜堤平野との間を南東方向に流れ、カウハイラグーンに流入していた (図2). しかし、フォン川の流れと潮汐流がぶつかるテュイトウラグーン南部に干潟が発達し、次第にフォン川からの水が排水不良となり、ついには1404年に当時のフォン川の河口から最短で海へ流れ出るような水路が新たに形成された。これが現在のホアデュンの部分に当たり、1404年以来こちらが主湖口となり、カウハイラグーン北東端の湖口は副次的なものとなって、洪水時には開口するもののしばしば閉塞するようになった (MSTE, 2001).

すなわち1404年以降タムジャンーカウハイラ

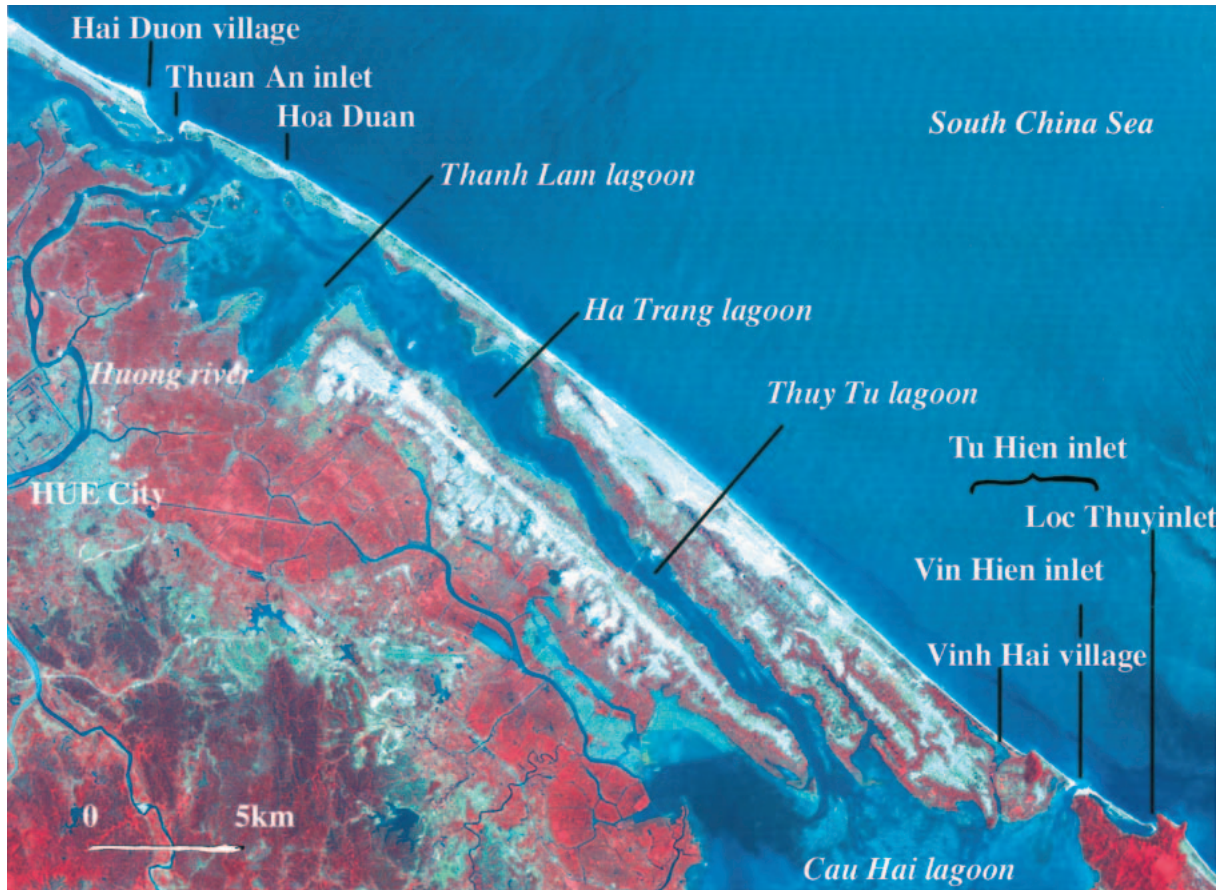


図2. タムジャンーカウハイラグーンの新旧の湖口(基図は2003年4月21日撮影のLandsat 7 ETM データをRGB (432) カラー合成したもの)

Fig. 2. New and old inlets of Tam Giang-Cau Hai lagoon (base map was made by Landsat 7 ETM data on 21 Apr. 2003)

グーンは、中央部と南東部の2箇所に湖口をもつようになった。このうち南東部のトゥヒエン湖口は、その西側のヴィンヒエン(Vinh Hien)湖口と、東側のロックテュイ(Loc Thuy)湖口とからなる(図2)。この2つの湖口は、数年～数十年の間をおいて、西側が開口して東側が閉塞したりあるいはその逆や、両湖口とも開口または閉塞という不安定な状態を繰り返している。

一方1404年以降タムジャンーカウハイラグーンの主湖口となった中央部では、現在のトゥンアン湖口からホアデュンからにかけての範囲で、湖口的位置は自然および人為的要因によって変化してきた。例えば後黎(Le)王朝(1428～1789年)は1467年にホアデュン湖口を人為的に締め切ったが、締め切り30数年後の1498～1505年の間に再び開口した。ところが1889年にはフオン川河口付近の流路が変わって、現在のトゥンアン湖口の部分に新たな開口部が形成された。この新しい湖口は、1897年にいったん自然に部分閉塞するが、1904年にホアデュン湖口が人為

的に締め切られると再び開口し、現在のトゥンアン湖口となった(MSTE, 2001; 図3-a)。

そして1904年以降1999年11月の洪水までの95年間、トゥンアン湖口がラグーン中央部で唯一の湖口となった。この間1904年～1953年の間は、湖口東側の砂州が西側の砂州の外側に細長く伸び、湖口は北西方向の細長い水路状となった(図3-b)。1953年の洪水では、フオン川の塩水遡上を防ぐ目的で設けられていた長さ2000mの石積みダムが決壊し、そのとき細長く伸びていた東側の砂州約7kmも浸食されてしまった(図3-c)。それ以来、トゥンアン湖口の左岸側で浸食が進み、水路の中心軸は徐々に北西方向に移動してきた(図3-d)。

1999年の洪水による砂州の決壊と海岸浸食

1999年の洪水では、河川からいっきに大量の洪水流がラグーンに流れ込み、当時開口していた中央のトゥンアンとカウハイラグーン北東端のロックテュ

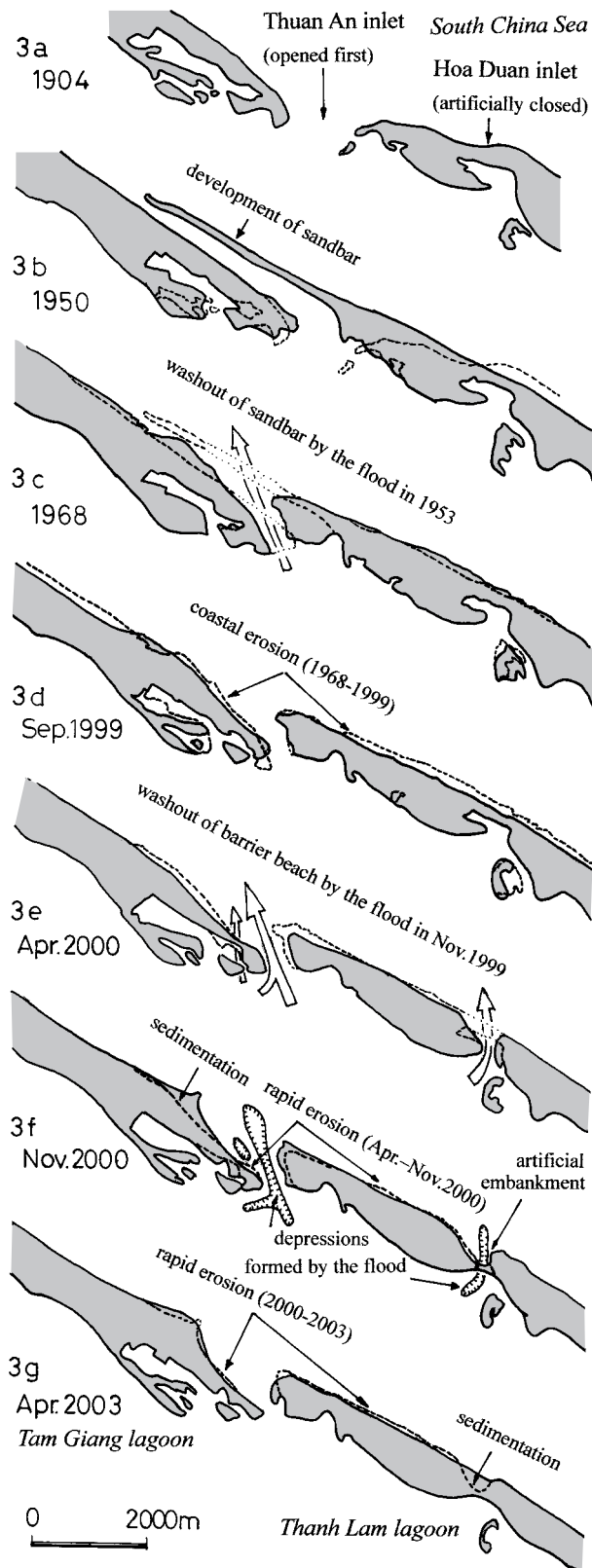


図3. 1904年～2003年におけるトゥンアン湖口の変化
Fig. 3. Changes of Thuan An inlet from 1904 to Apr. 2003
 (3-a: redrawn of the Fig.4-2 of MSTE,2001; 3-b, c: prepared by topographic map issued by U.S. army map service; 3-d, f, g: prepared by Landsat 7 ETM data; 3-e: redrawn of the Fig. 4-3 of MSTE, 2001)

イの2つの湖口だけでは排水できず、ラグーンの水位はヴィンヒエン湖口内側で最高4 mまで上昇した。そしてついに11月1日の深夜11時頃、ホアデュンおよびトゥンアン湖口北側のハイズオン (Hai Duong) 村の砂州、そしてヴィンヒエン湖口とその北西側のヴィンハイ (Vinh Hai) 村の4カ所で砂州が決壊し、湖水が海へ流出、また逆に海水も低地に流入した。

1. ホアデュン湖口の開口と周辺の変化

1904年に人為的に締め切られたホアデュンの旧湖口は、1999年の洪水によって標高2～3 mの砂州が決壊して幅600 m～700 mの水路がつけられ、95年ぶりに再び開口した(図3-e)。

ここでは11月1日の夕方5時頃からラグーンの水位が上昇しはじめ、深夜11時頃に砂州が決壊した。その後、満潮とラグーンへの洪水流の流入によって水位は決壊時よりさらに上昇し、翌11月2日の午後1時頃に最高3.0 mに達した。そして翌11月3日の朝7時頃にやっと湖水位は低下した。この村では、今回の水害で死者16人、家屋の倒壊・流出64軒という大きな被害となった(平井ほか, 2001)。

ホアデュン湖口の再開口に対し、ベトナム政府はラグーン湖岸に広がる水田の塩害防止、砂州東側地区への交通確保などのため、洪水後約1年たった2000年12月に、以前の道路より300 m内陸側に締め切り堤防を建設した(図3-f)が、2週間後に再び決壊した。そのため、翌年の旧正月(2001年1月24日)前に再度締め切り工事を行い、その後は徐々に海側の堆砂が進んで、2003年12月現在幅約300 m強にまで回復している(図3-g)。

しかし、ホアデュン湖口北西側のトゥンアンビーチにかけての海岸約4 kmと、トゥンアン湖口をはさんだ北西側のハイズオン村の海岸約3 kmの区間では、洪水直後から激しい海岸浸食が始まり、砂州や砂丘上にあった家屋が倒壊・流出し、また集落の井戸水への塩水侵入など深刻な問題が起こっている。以下、ホアデュン湖口北西側の海岸およびハイズオン村の海岸での急激な環境変化について述べる。

ホアデュン湖口北西海岸

本地域では1999年の洪水後2003年の12月までの4年間に急速に海岸浸食が進み、5軒のホテル(保養所)と5軒の民家が倒壊した(写真1)。海岸浸食は、北～北東季節風が吹き潮位が高く波浪の大きい11月～1月の冬季に発生している。2003年12月の調査時には、静穏だった夏季に比べて5～7 m砂浜が浸



写真 1. ホアデュン湖口北西側の海岸浸食によって倒壊した民家 (2000 年 3 月 9 日撮影)

Picture. 1. Private houses broken by coastal erosion occurred in the northwestern beach of the Hoa Duan inlet (taken on 9 March 2000)



写真 2. ホアデュン湖口北西側の海岸浸食で形成された浜崖 (2002 年 2 月 26 日撮影)

Picture. 2. Small beach cliff made by coastal erosion in the northwestern beach of the Hoa Duan inlet (taken on 26 February 2002)

食されたものの、2000年～2002年の浸食期に比べると海岸の浸食速度は小さくなっている。しかし現在でも比高約1～2mの浜崖が連続して認められ、浸食が依然として継続していると推測される(写真2)。ランドサットデータを使った画像解析によると、本地区の海岸では、1999年の洪水後2001年7月までに平均幅70m、最大幅100数十m、距離6.6kmにわたって砂浜が浸食された(MSTE, 2001)

海岸浸食がほぼ収まった集落でも、現在最も海岸線に近い家では、2001年9月以降井戸水に塩水が混入して飲用に適さなくなったため、内陸側に井戸を掘りなおした。2003年3月15日に水質を測定した結果、海岸線から70mの距離にある旧井戸の塩分濃度は0.9%、その約20m内陸側にある新井戸(いずれも地下水位は地表より5m)の塩分濃度は0.5%で、かろうじて淡水であった。しかし潮位の高い冬季には、現海岸線よりさらに50～60mも内陸まで波が侵入すること、海岸浸食が完全には止まっていないことなどを考慮すると、新しい井戸も近い将来塩分濃度が上昇して飲用不可になると懸念される。

ハイズオン村の海岸

1999年の洪水では、トゥアン湖口東側の砂州先端部分がいきなり浸食され、湖口の幅が広がるとともに、湖口西側のハイズオン村の砂州の一部が決壊した。洪水後、この決壊地点から北西側約2kmの区間の海岸で、急速な海岸浸食が始まった(図3-e)。MSTE(2001)によると、1999年11月の洪水直後～2000年7月までの8ヶ月間に幅50～90m、長さ2.6km、面積12.55ha、さらに2000年7月～2001年7月ま

での1年間に幅30～60m、長さ1.8km、面積5.75haの砂浜が浸食された。このような急速な海岸浸食によって、2001年3月16日には、標高約10mの砂丘上にあった灯台とその西側の漁民の住居20軒が倒壊した。2002年2月の現地調査時には、砂丘上の民家28軒を含む全48軒の家屋が海岸浸食によって倒壊し(写真3)、その住民は同じハイズオン村内のラグーンの湖岸に移住したということであった。

ハイズオン村の海岸浸食も北～北東季節風が卓越する冬季(11月～翌年1月)に進行しており、とくに洪水約1年後の2000年と2001年冬季の浸食が最も激しかった。2000年4月と同年11月のランドサット画像を比較すると、湖口西側の北西から南東に向かう沿岸流と湖口から流出する流れがぶつかる所に尖角州が形成されており、南西風が卓越する夏季の間に砂の堆積が進んだことがわかる(図3-f)。2003年12月の現地調査によると、ハイズオン村の海岸ではその年の4月から砂の堆積が卓越し、冬季になっても激しい浸食は発生していない(写真4)。それ以前の浸食でつくられた砂丘の急崖直下の尖角洲の付け根の部分では、海岸の防風・防砂林としてフィーラオ(Phi lao: 和名モクマオウ)の植林も始まっている。

2. ヴィンヒエン湖口の開口と周辺の変化

カウハイラグーン東北部のヴィンヒエン湖口とロックテュイ湖口は、ラグーン中央部に新しいホアデュン湖口が開いた1404年以降、埋積と開口を繰り返す不安定な状況にあった(図4-a, b, c)。このう



写真3. トゥアンアン湖口北西側の海岸浸食で倒壊したハイズオン村の砂丘上の民家(2002年2月26日撮影)

Picture. 3. Private houses on the sand dune in Hoa Duan village broken by coastal erosion occurred in the northwestern beach of the Thuan An inlet (taken on 26 February 2002)



写真4. 海岸浸食で作られた砂丘の急斜面前面に新しく堆積したハイズオン村の砂浜(2003年12月23日撮影)

Picture. 4. New beach appeared in front of the steep dune cliff made by coastal erosion in Hoa Duong village (taken on 23 December 2003)



写真5 ヴィンヒエン湖口北西側の海岸浸食で形成された比高約1mの浜崖(2003年12月22日撮影)

Picture.5 Beach cliff about 1 m in height made by coastal erosion in the northwestern beach of the Vinh Hien inlet (taken on 22 December 2003)

ち西側のヴィンヒエン湖口は、今回の洪水以前は1990年～1994年の4年間開口しており、1994年12月に自然閉塞し、翌年には人為的に石積みの海岸堤防で補強された。自然閉塞する約1ヶ月前の水路幅は50m、水深は0.5～1mであった(MSTE, 2001)。以下、ヴィンヒエン湖口とロックテュイ湖口での環境変化について述べる。

ヴィンヒエン湖口

1999年の洪水では、この付近ではあまり降雨はなかったにもかかわらず、11月1日の夜約2時間で湖水位が急上昇し最高約4mまで達した。そして、午

後11時頃ヴィンヒエン湖口部分の砂州、およびその西側の湖岸低地の砂州の少なくとも2箇所が決壊した(図4-d)。そのためこの付近を中心として家屋が倒壊・流出し、村内440軒のうち82軒が破壊された。死者は一人であったが、周囲の水田約150ヘクタールが浸水した(平井ほか, 2001)。

水害直後のヴィンヒエン湖口は幅約600m、水深4～8mであった(MSTE, 2001)。水害後4ヶ月たった2000年3月の現地調査では、北西岸から幅約200mの砂州が南東方向に延びて水路幅は約250mとなり、その後2000年11月には幅約150m、水深8.6m(MSTE, 2001)、そして2002年2月には幅約50m、水深7m(現地での聞き取り)、2003年12月には水深約3m(同上)と湖口は急速に狭く浅くなり、1994年に閉塞した直前の状態に近づいている(図4-e)。

しかしヴィンヒエン湖口の北西側海岸約1kmの区間では、洪水後に激しい海岸浸食が進行している。すなわち、洪水以前には砂浜の幅が約100mあったが、北～北東季節風が吹く11月～1月に砂浜が毎年幅10～15mほどずつ浸食され、洪水後4年経過した2003年12月までに全体で約50～75m浸食された(写真5)。そのため、洪水後この地区ではすでに約50軒が内陸に移住した。また先に述べたホアデュン湖口北西側の海岸の場合と同じく、残されている集落の生活用水・飲用水である井戸水の塩水化問題が起こっている。

ロックテュイ湖口

東側のロックテュイ湖口は、ヴィンヒエン湖口が

締め切られた1994年以降開口し、洪水以前には西側から延びた細長い砂州の背後に幅100~400mの水路が存在した(図4-c). 水害直後には、湖口の幅も砂州背後の水路も広がったが(図4-d), 2001年には幅約100mの砂州上にエビ養殖池も作られた. しかし、2003年4月撮影のランドサット画像では水路の入り口が閉塞し、2003年12月の調査時の聞き取りでは砂州の海側の浸食が進んで、もっとも狭いところは幅が10mとなりエビ養殖池は崩壊の危機的状況にあるという(図4-e).

洪水後の地域社会の対応と変化 —ヴィンハイ村を例に—

前章までに述べたように、1999年11月の洪水では、かつて湖口だったホアデユンおよびヴィンヒエン湖口が再び開口した. そしてこれら以外にも、トゥアン湖口北西に位置するハイズオン村およびヴィンヒエン湖口北西に位置するヴィンハイ村の砂州が決壊し、その後これらの新旧の湖口および砂州決壊部のいずれもその北西側海岸で、急速な海岸浸食が進んでいる. そのため当該地域の集落では、洪水とその後の海岸浸食によって多数の家屋が倒壊・流出し、また地下水の塩水化によって生活用水や灌漑用水の利用に深刻な問題が発生している. さらに湖岸低地および浜堤列間の低地では、直接海水が侵入したり、洪水後ラグーンの塩分濃度が一時的に上昇したために水田にも被害がでた.

こうした洪水とその後の急激な環境変化に対して、ラグーンの湖岸および海岸にある各集落では、さまざまな対応が見られる. 初めにでも述べたように、今後の海面上昇の影響とその対応策を考える上で、今回の一連の災害に対して具体的に地域の人々がどのように対応し変化したのかを知ることは大変重要である.

そこで、本章では1999年の洪水で大きな被害を受けながらも、その後すばやく村の復興と開発に取り組んでいるヴィンハイ村の事例を紹介する. カウハイラグーンのヴィンヒエン湖口北西側に位置する

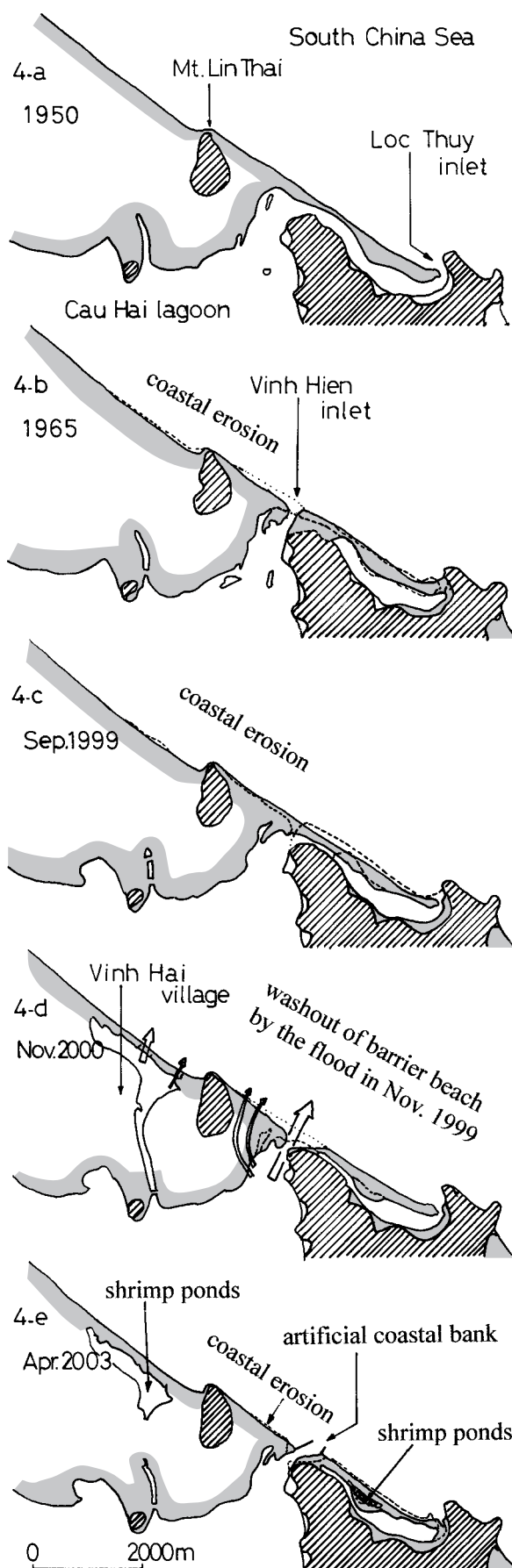


図4. 1950年~2003年におけるトゥヒエン湖口(ヴィンヒエン湖口およびロックテュイ湖口)の変化

Fig. 4. Changes of Tu Hien inlet (Vinh Hien inlet and Loc Thuy inlet) from 1950 to Apr. 2003

(4-a, b: prepared by topographic map issued by U.S. army map service; 4-c, d, e: prepared by Landsat 7 ETM data)

ヴィンハイ村は、幅約 3 km、標高 5~10 m の海側浜堤平野の中央部より海岸側を占める。この浜堤は、先にも述べたように厚さ 3~6 m の細粒砂に覆われているため、大部分は墓地として利用され耕作地は少ない。村の海岸線の延長は 4.5 km で、海岸には幅約 200 m の浜堤および砂丘が連なり、その背後に幅約 500 m、延長約 5 km の低地・湿地が広がっている(図 2)。村の総戸数は約 650 戸、人口約 3000 人で(2003 年 12 月)、うち 18 歳以上は 690 人、農業と漁業を主な生業とし、保健所と小学校が各 1 箇所ある。1999 年の洪水以前には低地部分を中心に 170 ha の水田があった。そのうち、50 ha はもとラグーンの一部であったところを 1990 年に水田化したところで、1999 年の洪水ではここに海水が浸入・湛水し、再び水田として利用することができなくなった。

1. 洪水への対応

1999 年の洪水時には、村の低地部分に浸入した湖水の水位が上昇し、その前面の砂州が幅 200 m と幅 80 m の少なくとも 2 箇所が決壊した(図 4-d)。このうち前者の決壊部分は、水深 1~1.5 m で洪水後約 3 ヶ月間開口しその後自然閉塞した。この砂州決壊による人的被害はなかったが、村内では家屋の倒壊 12 軒、一部損壊 50 軒であった。

砂州決壊後の 11 月 1 日~3 日は洪水水位が高く、住民は 5 日間浜堤上に避難して生活せざるを得なかった。この水害時は、避難のための情報提供などがなされなかったため、今後村ではまず警報システムの整備に取り組むという。洪水による浸水・湛水に対しては、住宅地の盛り土や高床化も有効であるが、予算上限りがあるため、村では役所や学校などの 2 階建ての建物を避難所として使う計画である(村長による)。

2. エビ養殖の開始と拡大

1999 年の洪水では、決壊した砂州部分から村内の水田 50 ha に海水が浸入し、ここでの水田耕作は不可能となった。そのため村では、被害を受けた 150 軒の農家を稲作から養殖業に切り替えることにした。最初は魚の養殖を試みたが、現在は 100% 輸出用のエビ養殖を行っている。2002 年 2 月までに孵化場が完成し、2003 年 12 月時点で 42 ha の水田が養殖池に転用され、60 軒の農家が経営に当たっている(図 4-e)。低地にある残り 50 ha の水田は、2005 年までにすべて(合計 92 ha)をエビ養殖池に転用する計画で、現在村の海岸 2 箇所にある海水を引き入れるポンプ場を合計 6 カ所に増やして対応する。このような稲作からエビ養殖への転換にともなう池の造成

や電気施設の整備などに対し、政府から 70% の資金融資がなされている。

この地方では雨季(10 月~1 月)の降水量が約 2000 mm と多いために、ヴィンハイ村でのエビの養殖は基本的には乾季の 1~5 月と 6~9 月の 2 回行われる。生産高は 1 ha あたり 1 回につき約 1 トンで、その粗収益は約 6500 万 VND(ベトナムドン：2003 年 12 月時点で 1 日本円=145 VND)で、現在村全体(42 ha)で 1 年間に約 80 トン(1 トン×42 ha×2 回)の生産高とのことであった。これらの値から、ヴィンハイ村におけるエビ養殖農家 1 軒あたりの収入(聞き取りによると利益率は約 60%)を計算すると、約 5200 万 VND(6500 万 VND×80 トン÷60 軒×60%)となる。これを、村の平均家族数 4.6 人(3000 人÷650 軒)で除して一人あたりの平均年収にすると、1130 万 VND となる。この値は、ベトナム全国における漁業従事者一人あたりの平均年収 814 万 VND(2001 年：Statistical Publishing House, 2002)やテュアティエン=フエ省における県民一人あたりの平均年収 696 万 VND(2000 年：同上)と比較すると、初期投資費用を考慮してもまずまずの収入と言えよう。

ところで 1980 年代後半からエビ養殖池が急増したタイでは、1997 年には全国 73,120 ha の養殖池で、227,560 トンのエビが生産され、その生産高は 1 ha 当たり年に 3.11 トンである(宮城ほか, 2003)。ヴィンハイ村のエビ養殖の 3 倍以上の土地生産性であるが、これは池を造成してポンプや羽根車(エアーレーター)を設置し、また飼料や薬剤を大量に投下して、1 年に 2~3 回収穫する集約的養殖法によるもので、このような養殖を続けると生産開始から 5~10 年で、水質や底泥の汚染のために生産性が落ちてしまう(平井, 1999)。これに対し、従来ベトナムで行われていたエビ養殖は、1998 年の全国平均で土地生産性が 1 ha 当たり年に 220 kg とタイと比較して一桁小さい。それは、特別の設備を設けずに潮位差を利用して換水を行い、人工飼料なども与えない粗放的な方法であった(宮城ほか, 2003)。しかしヴィンハイ村で始まったエビ養殖は、そのような従来の粗放的なものではなく、生産性を高めるためにポンプの導入など集約的方法に移行しつつある。そうすると、ラグーンの水質汚染や養殖池の劣化の問題が心配される。この点について村では、養殖池下流のラグーン側に汚水処理施設を設け、さらにその下流にカウハイラグーンの特産である汽水性の魚(名称：カジア)の養殖池を造って、エビ養殖池からの栄養物を含んだ餌で 8 ヶ月養殖する。あるいはエビの養殖池で 2

回エビを養殖し、あと 1 回はカジアの養殖を行うという方法で、持続的なエビの養殖を目指すとのことであった。

このほか、本研究対象地域は 1994 年以降中部ベトナムにおける中核地帯形成プロジェクトの対象地域となっているため、先に述べたハイヴァントンネル建設の他にも、2004 年からはカウハイラグーンの湖口をまたぐ長さ 1200 m の道路橋や、ヴィンハイ村から 14 km 東にあるチャンマイドン (Chan May Dong) 岬西側の新港の建設が始まった。タムジャンーカウハイラグーン地域でも、すでに道路の新設・改良やラグーンを横断する新しい橋の建設などが積極的に進められており、今後ヴィンハイ村を含む本地域はエビ養殖や観光業を中心に急速に変貌していくと思われる。

将来の洪水災害の予測

本章ではまず、1999 年 11 月の洪水による砂州決壊とその後の急激な海岸浸食の要因について考察する。そしてこれを踏まえ、今後の海面上昇によるラグーン地域への影響も考慮した上で、本地域における将来の洪水災害の予測を行う。

1. 砂州決壊の要因

1999 年の洪水では、11 月はじめの 1 週間に降った 2000 mm を越える大雨が一連の災害の誘因となった。しかしこの洪水では、洪水水位の上昇速度や洪水の流下速度が速かったことが大きな特徴であり、それが災害を大きくした要因の一つになった。洪水水位の上昇速度は、フォン川中流の谷底、平野の出口およびラグーンの湖岸で、それぞれこれまで住民が経験したことのない速さであった。そのため、自宅から避難する機会を逸した家族があわてて屋根裏から屋根に出て船で救出された例や、救出が間に合わず家ごと流された例が複数あった(平井ほか, 2001)。また洪水の最高水位の出現時刻の差は、フォン川河口より 38 km 上流にあるヴォクサ (Vo Xa) 村と河口に近いラグーン湖岸 (河口より 4 km) との間で、2 時間以下と短かった。このように洪水の水位上昇速度や流下速度が大きかったのは、本地域の河川上流域の山地・丘陵地に良好な森林があまり見られず、灌木の生えた程度の疎林が多いために、洪水の流出率が高くラグタイム (降雨のピークと流量のピークの発生時刻の時間差) が短かったことに起因すると思われる。本地域で森林の発達が悪いのは、ベトナム戦争中に散布された枯れ葉剤の影響だと現地の研

究者は言う。確かにホーチミン市の戦争証跡博物館 (Ho Chi Minh City The War Remnants Museum) の展示パネルによると、フエの海岸平野背後の山岳地帯には大量の枯れ葉剤が繰り返し散布されたことが明瞭に示されている。

また、2003 年 12 月にフォン川上流のターチャック (Ta Trach) 川に計画されているダムサイトを訪ねたが、周辺の山地斜面のユーカリの木々が皆伐されていた。ダム建設で水没するドンホア (Dong Hoa) 村 680 戸のうち 422 戸の住民移転にもなって、住民が所有する木を伐採した結果という (ドンホア村村長による)。いつから、どの範囲がどれくらいの面積伐採されたかという具体的なデータは入手できなかったが、ダム計画は洪水前の 1997 年から住民に周知されており、森林伐採が 1999 年の洪水以前に始まっていたとすれば、洪水の流出を早めた一つの要因となった可能性がある。

一方今回の洪水では、ラグーンの最高水位は過去の記録よりいっきに 1 m 以上も上昇した。その要因として、以下の二つが挙げられる。第一に洪水直前に開口していた二つの湖口のいずれもが、幅の狭い水路状になっていて、排水能力がそれ以前に比べて小さくなっていたことが指摘できる。すなわち、中央のトゥンアン湖口では湖口東側の砂州が西方に延び、また西側の砂州が浸食されて、水路の中心軸が北西方向に傾いており、長さ約 1 km、幅が最も狭いところで 320 m の水路状になっていた (図 3-d)。また北東部のトゥヒエン湖口でも、直接海につながるヴィンヒエン湖口が 1994 年に自然閉塞し、湖水は幅 100~400 m、長さ 4 km 以上の細長い水路を経てロックテュイ湖口から海へ注いでいた (図 4-c)。第二の要因として、人工的に締め切られたホアデュン湖口およびヴィンヒエン湖口は、海岸に石積みの堤防も築かれていたために、自然状態の砂州に比べて簡単には決壊しにくく、そのためかえって湖水位が異常に上昇したと考えられる。

これらの要因によって、旧湖口およびこれに近接する砂州がほぼ同時に数カ所で決壊した。この砂州の決壊には、もう一つ重要な要因が関連している。すなわち、洪水以前から海岸浸食によって砂州そのものの幅が次第に狭くなっていたことが挙げられる。とくにホアデュン~トゥンアンビーチにかけての海岸線は、1960 年代より浸食が進み、リモートセンシングデータによると 1975 年~1999 年の 24 年間に平均幅 100 m、最大幅 200 m、距離 6.4 km にわたって砂浜が浸食されている (MSTE, 2001)。洪水以前に

は、浸食防止を目的とした複数の突堤が海岸線に設けられていた。また、トゥヒエン湖口北西側のヴィンハイ村の海岸でも、40～50年前は幅約300～400mの砂浜があったが、30年ほど前には海岸浸食によって約20軒の家が内陸に移転し、1979年の対中国紛争時に当時の海岸線に築いたコンクリート構造物が現在は海中に没している（ビンハイ村村長による）ことなどから、ここでもやはり1960年代から浸食が継続していることが明らかである。

2. 海岸浸食の要因

洪水後の急激な海岸浸食の誘因は、再開した旧湖口および決壊した砂州部分を通して、湖から海へ大量の水が一度に流出したために、その沖合の海底が深く浸食されたことである。洪水後に測量されたトゥアン湖口およびホアデュン湖口周辺の1/5000等深線図と、1967年の測深に基づく1/25000 PICTOMAP SUPPLEMENT Sheet 6542 III S (the Army Map Service, Corps of Engineers, U. S. Army) の2つの地図を比較すると、トゥアン湖口では最大水深が9.9mから15.8mに変化し、そこに長さ約1000m、幅約250m、水深10m以上の凹地が作られている。この北西側のハイズオン村の砂州決壊地点の沖合約100mにも、最大水深8.3m、長さ約400m、幅約100m、水深5m以上の凹地が出現している。ホアデュン湖口でも、湖側の水深2.1m、海側の水深4.2mであった部分に、最大水深12.3m（湖側）～7.4m（海側）、長さ約1000m、幅約200m、水深5m以上の凹地が新たに作られている（図3-f）。

この凹地を埋めるように、まず決壊地点の海岸から沖に砂が移動することによって、ここで激しい海岸浸食が始まり、その後浸食範囲が北西側の海岸へと拡大していった。そのメカニズムは以下のように説明できる。すなわち本地域の沿岸漂砂は、主に北～北東季節風の吹く冬季に、海岸線に沿って北西から南東方向に移動している。したがって、洪水後に出現した上記の凹地を埋めるように、砂州決壊地点の北西側海岸から南東側に向かって沿岸漂砂が移動し、そのため砂州決壊地点から始まった急激な海岸浸食が少しずつ北西側の海岸に及んだと推測される。現在（2003年12月）は洪水後5回の冬季を経て、洪水で形成された凹地がほぼ埋積されたため、全体の海岸浸食も落ち着いてきたと解釈できる。

3. 将来の洪水災害の予測

本地域における洪水の誘因は、冬季のモンスーンに伴う降雨と夏季の台風による降雨である。地球温暖化が進行すると、本地域では冬季のモンスーンは

全般的に弱くなり、降水量の変化については判断が困難とされている（原沢・西岡，2003）。また台風については、現時点では温暖化による数や強さの変化についての予測は不確実で、数は減少するが強さ（最大風速）はやや強くなり、強さが同じなら降水量は10～30%増大する可能性も指摘されている（原沢・西岡，2003）。

このように、洪水の誘因となる大雨については、現在のところ地球温暖化による急激な変化は予測されていない。しかし先に述べたように、地球温暖化によって海面は21世紀末までに9～88cm上昇することが予測されており、モデルによってはアジア地域での上昇比率が大きいという予測もある（原沢・西岡，2003）。実際、ベトナム北部のハイフオンの南東約25kmにあるホンダウ（Hon Dau）検潮所の記録では、年間平均海水面が1960年から2000年前の40年間に18.0cm上昇しており、IPCCの報告書にある世界の過去100年間の平均海面上昇量約30cmに比べて1.4倍になっている（平井，2003）。すなわち本地域では、今後海水面の上昇に伴ってラグーンの水面上昇し、将来の洪水に対して脆弱性が増すと考えられる。

一方洪水災害予測にあたっては、地域の自然および社会・経済的特質に由来する要因、すなわち地域的要因（素因）が重要である。本研究対象地域としたラグーン地域では、まず湖口の地形変化による排水能力の低下という自然的要因を考慮しなければならない。またラグーンに流入する河川上流域での開発その他による洪水流出率の増大や流出速度の速達化など、人為的な要因も無視できない。したがって、地球温暖化・海面上昇の影響も考慮すると、今後何らかの有効な洪水対策が行われなければ、将来本地域において1999年と同様のあるいはそれを上回る洪水災害が発生する可能性が高い。

さらに先に述べたように1999年洪水後、ヴィンハイ村をはじめ湖岸地帯では従来の水田をエビの養殖池に転換して、大規模な輸出用のエビ養殖が急速に拡大している。このように社会・経済的条件が大きく変化している中で再び大洪水が発生すれば、洪水流によってエビ養殖池の堤防や各種施設（ポンプ、導水管、羽根車、孵化施設など）が破壊され、また土砂の堆積などによって、洪水被害はこれまで以上に大きいものとなることが予測される。とくにヴィンハイ村では、1999年の洪水で決壊した砂州の内陸側低地全域でエビ養殖池が造成され、その砂州部分は1999年の洪水時より決壊しやすくなっていると考

えられる。このような土地利用の変化に伴う、洪水災害に対する脆弱性の増大などきめ細かく検討する必要がある。

ま と め

本研究では、ベトナム中部のフエラグーン地域における 1999 年の洪水災害のうち、とくにラグーンと海とを隔てている砂州の決壊およびその後に発生した海岸浸食の実体を明らかにし、その要因について検討した。そして、洪水被害を受けた地域社会の変化や今後の海面上昇の影響も考慮し、本地域における将来の洪水災害の予測を行った。その結果、以下の点が明らかになった。

- (1) 1999 年の洪水では、1904 年に人為的に締め切られたホアデュン湖口と 1994 年に自然閉塞したヴィンヒエン湖口が決壊して再び開口した。これに加え、トゥンアン湖口北西側に位置するハイズオン村の砂州およびヴィンヒエン湖口北西側に位置するヴィンハイ村の砂州も、ほぼ同時に決壊した。これらの洪水で決壊した地点の北西側海岸では、洪水後の 4 年間 (1999 年 11 月～2003 年 12 月) に、幅 50～150 m、延長 1～約 7 km にわたって、急激な海岸浸食が発生し進行した。
- (2) 旧湖口の再開口および砂州決壊の要因は、1 週間に 2000 mm 以上の大雨が誘因である。これに加え河川上流域の森林状態を反映した洪水流出率や流下速度が大きかったこと、洪水直前のラグーンの湖口が狭く排水能力が小さかったこと、1960 年代以降の海岸浸食によって砂州が脆弱になっていたことなど地域的要因(素因)が大きい。一方洪水後の激しい海岸浸食の要因は、旧湖口および砂州決壊地点の沖合に、洪水流によって深さ 5 m 以上、長さ 400～1000 m、幅 100～250 m の凹地が形成されたことが誘因である。この凹地を埋めるように周辺の砂が移動することで、まず決壊地点近傍の海岸浸食が始まり、その後冬季のモンスーンによって北西から南東に向かう沿岸漂砂のために、決壊地点北西側の海岸浸食が進んだ。
- (3) 今後地球温暖化による海面の上昇や、ラグーンの湖口の閉塞など自然条件の変化や、河川上流域の開発あるいはラグーン湖岸でのエビ養殖の拡大といった地域社会の変化を考慮すると、本地域では将来 1999 年と同様なあるいはそれ以上の洪水災害発生の可能性が懸念される。
なお、1999 年の洪水後ベトナム政府は、フオン川

上流のターチャックダムの建設計画(堤高 54 m、堤頂長 1100 m、総貯水量 5 億 3300 m³)を治水対策の前面に押し出した。本来このダムは洪水調節のほか、生活用水および灌漑用水の開発、発電、乾季の塩害防止などの多目的ダムで、15 年以上も前から検討されてきた(松本, 2002)。1997 年からは水没予定地の住民への説明と補償が始まり、住民の住居移転は 2004 年 3 月に完了し、本年(2004 年)から工期 5～7 年の大工事が始まろうとしている。またラグーン域でも、2003 年 4 月のランドサット画像によると、1999 年の洪水時に開口したヴィンヒエン湖口の海岸側に、湖口の自然閉塞を防ぐための導流堤が建設されている。

しかし、このようなダムや導流堤と言ったハードな構造物による治水対策だけで、将来の洪水災害に十分対応できるとは限らない。これまで述べてきたように、海岸地帯では 1960 年代以降海岸浸食が続いており、また今後の海面上昇によるラグーン地域におけるさまざまな影響も心配される。さらに例えば、先に指摘したヴィンハイ村における水田のエビ養殖池への転換や、また氾濫源を横断する高さ 2 m 以上の盛り土による道路建設など、かえって洪水時の砂州決壊や湛水深の増大・湛水期間の長期化など、洪水に対する地域の危険度を高めるような事業も次々に行われている。すなわち将来の洪水災害に対しては、ダムや道路・港湾建設、エビ養殖の展開など流域全体に関わる開発計画に加え、上述のような地域内における細かな自然および社会・経済状況の変化を見越した総合的防災計画が必要である。その対策立案に際しては、対象地域の微地形分類を基礎とした洪水災害および海面上昇の影響予測地図(平井, 2002)を活用することができる。本地域におけるそのようないわゆる災害ハザードマップを利用した洪水および海面上昇への適応策についての具体的な議論については、別稿に譲りたい。

謝 辞

ベトナムでの資料収集および現地調査に際しては、ホーチミン市のベトナム国立自然科学技術センター地理学副研究所、およびフエ市のテュアティエン＝フエ省科学技術環境研究所の多くの方々にも多大なる協力をいただいた。あらためて、ここに深く感謝いたします。なお本研究は、2000～2002 年度に実施された環境省地球環境研究総合推進費による「海面上昇の総合的影響評価と適応策に関する研究」

(研究代表者：国土地理院), および2002~2004年度の科学研究費(基盤研究 A-1)「気候変動・海面上昇に対する適応策に関する総合研究」(研究代表者:茨城大学・三村信男)の成果の一部である。関係各位にお礼申し上げます。

文 献

- DSTE (Department of science, technology and environment, Thua Thien-Hue Province) (1998) *Estimation of the potential and proposal of the wetland protected area for the Tam Giang-Cau Hai lagoon*. People's committee of Thua Tien-Hue Province, 17 p.
- Geological survey of Viet Nam (1996) *Geology and mineral resources of Hong Hoa-Hue-Da Nang sheet*, 94 p and 1:200,000 map.
- 原沢英夫・西岡秀三編著(2003)『地球温暖化と日本第3次報告 -自然・人への影響予測-』古今書院, 東京, 411 p.
- 平井幸弘(1995)タイ国南部ソクラー湖周辺の地形と環境問題. 愛媛大学教育学部紀要(Ⅲ)自然科学, 15 (2): 1-16.
- 平井幸弘(1999)タイ国南部ソクラー湖における自然および社会・経済システム. 愛媛大学教育学部紀要(Ⅲ)自然科学, 19 (2): 1-15.
- 平井幸弘(2000)タイ国南部ソクラー湖における海面上昇の影響予測評価. LAGUNA (汽水域研究) 7 :1-14.
- Hirai, Y.(2000) Assessment of impacts of sea-level rise on coastal lagoons-A case study of the Songkhla Lake in South Thailand. In: *Proceeding of the Thai-Japanese geological meeting on the comprehensive assessments of impacts of sea-level rise, Phetchaburi, Thailand, Dec. 1-4, 1999* : 152-159.
- Hirai, Y.(2001) Assessment of impacts of sea level rise on the Songkhla Lake in South Thailand. In: *Proceeding of APN/SUVAS/LOICZ joint conference on Coastal Impacts of Climatic Change and Adaptation in the Asia-Pacific Region, Kobe, Japan, Nov. 14-16, 2000* : 205-210.
- 平井幸弘(2001)タイ国南部ソクラー湖における影響予測評価. 海津正倫・平井幸弘編『海面上昇とアジアの海岸』, pp 157-177. 古今書院, 東京.
- 平井幸弘(2002)ソクラー湖海面上昇影響予測評価地形分類図. 地図, 40 (3): 13-20.
- 平井幸弘(2003)ベトナム北部紅河デルタ海岸地帯における環境変動と住民の対応. 平成12~14年度科学研究費研究成果報告書「紅河デルタの環境変動と環境評価」研究代表者 春山成子: 151-167.
- Hira, Y.(2003) Assessment study of the impacts of sea-level rise on coastal lagoons in South Thailand and Middle Vietnam. In: *Annual Report 2002 and Proceedings of the Third Workshop of the Sub-project "Studies on Natural Environment and Culture in Asia (The Hydrosphere)", Abashiri, Japan, Aug. 31, 2002*: 81-95.
- Hirai, Y., Satoh, T. and Tanavud, C.(1999) Assessment of impacts of sea-level rise on coastal lagoons-Case studies in Japan and Thailand-. *Regional Views (地域学研究)*, 12 : 33-45.
- 平井幸弘・グエン・ヴァン・ラップ・ター・チキム・オアン(2001)1999年ベトナム中部洪水災害. 地理, 46 (2): 94-102.
- Hirai, Y., Ggyen, V. L. and Ta, T. K. O.(2004) An assessment study of the impacts of sea level rise on the lagoon area in Middle Vietnam. In: *Proceedings of Vietnamese-Japanese geological workshop on Delta Evolution and recent Environmental Changes, Ho Chi Minh City, Vietnam, Dec. 22-27, 2002*: (in printing).
- IPCC (気候変動に関する政府間パネル) 編(2002)『IPCC地球温暖化第三次レポート-気候変化2001-』中央法規出版, 東京, 289 p.
- Le Ba Thao (1997) *Vietnam -the country and its geographical regions*. The Gioi Publishers, Hanoi. 617 p.
- 松本 悟(2002)便益が過大宣伝されたまま住民移転が始まるベトナム中部ターチャックダム. フォーラム Mekong, 4 (3): 17-19.
- Mimura, N. and Harasawa, H. Eds.(2000) *Data Book of Sea-Level Rise 2000*. Center for Global Environmental Research (環境庁国立環境研究所地球環境センター), 128 p.
- 宮城豊彦・安食和宏・藤本 潔(2003)『マングローブなりたち・人びと・みらい』古今書院, 東京, 193 p.
- MSTE (Ministry of science, technology and environment) (2001) *Integrated report of the research on project to recover and make suitable coastal estuary in Thuan An - Tu Hien and Tam Giang - Cau Hai lagoons*. Hanoi.
- Statistical Publishing House (2002) *Statistical Year Book-2001*. Statistical Publishing House, Hanoi, 598 p.