

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

平井幸弘¹

Assessment of Impacts of Sea Level Rise on the Songkhla Lake in South Thailand

Yukihiro Hirai¹

Abstract : In this paper the author first presents an original procedure to assess the impact of sea level rise. Following this procedure the natural and socioeconomic characteristics of the Songkhla Lake are described. Then the lacustrine lowland of Thale Sap Songkhla is divided into three distinctive geographical zones, and major factors that control the development of each littoral zone are identified. Based on those development factors, some serious impacts of sea level rise on the lake were assessed as follows ;

(1) In the beach ridge plain, coastal erosion will become more severely, especially where large-scale shrimp farming developed will be affected critically by the retreat of the shoreline along the present coast.

(2) The area of Songkhla City should be protected by higher or stronger seawall if the coastal erosion would become more severe.

(3) The channel linked the lake and the Gulf of Thailand will become twice or three times as wide as present one, because of the erosion of the north end of the spit. Then the groundwater in the littoral lowlands will be affected by the increase in salinity of the lake water.

(4) In the deltaic lowland of Thale Sap Songkhla, wide littoral area will be inundated with lake water about 1 to 3 km in width from the present lake shoreline. Lacustrine lowlands newly covered with urban facilities, should be protected from severe floods or long-term inundation.

Key words : assessment of impacts, beach ridge plain, deltaic lowland, sea level rise, Songkhla Lake

はじめに

近年世界各地で、豪雨や熱帯性低気圧による洪水や高潮などの災害が頻発している。これに対し、すでに地球温暖化や海面上昇の影響が、現実に現れているのではないかと指摘や懸念も表明されている。IPCCの地球温暖化に関する第二次レポートでは、「全球平均地上気温は、19世紀以降現在までに

すでに0.3~0.6℃上昇し、西暦2100年までに現在に比べて2℃上昇する。全球海面は、過去100年に10~25 cm上昇し、同じく約50 cm上昇する。」と予想されている (IPCC編・環境庁地球環境部監修, 1996)。

ところが、今後の海面上昇によって、デルタや湖沼、マングローブ、干潟、サンゴ礁などの様々な海岸で、具体的にどのような影響が予測され、どの程

¹ 愛媛大学教育学部地理学研究室 Department of Geography, Faculty of Education, Ehime University
(現在, 専修大学文学部地理学教室 Present address ; Department of Geography, Faculty of Literature, Senshu University, Kawasaki 214-0033, Japan)
e-mail ; hirai@isc.senshu-u.ac.jp

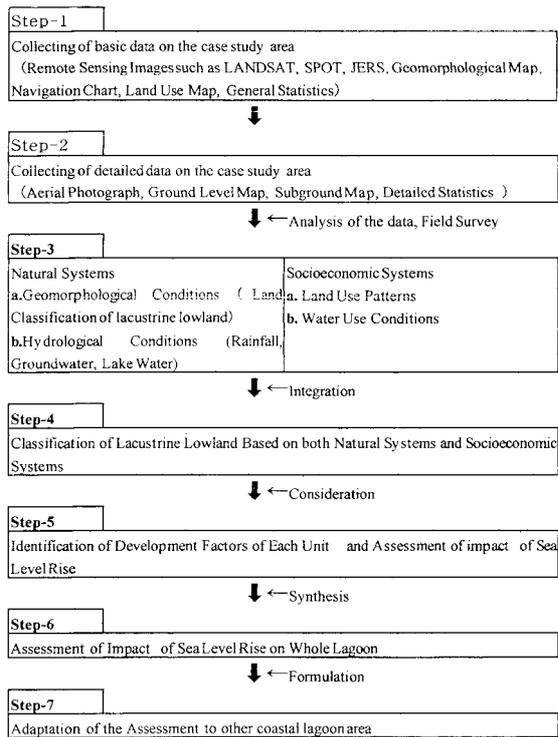


図1 海跡湖における海面上昇の影響予測評価の手順 (Hirai et al., 1999)

Fig.1 Original procedure of assessment of the impacts of sea-level rise on coastal lagoons (Hirai et al., 1999)

度の問題となるかと言った点については、まだあまり議論されていない。また現在のところ、海面上昇の影響予測評価の確立した統一的手法はない。そのため、評価手法の開発を含め、上記の点に関する議論を早急に深めて、対応戦略を練り上げることが、重要な課題となっている。

筆者は、多様な土地利用・水利用が高密度で行われ、海面上昇の様々な影響を受けやすい海跡湖を研究対象として、上記の問題について研究を進めてきた (平井, 1995a ; 1998 ; 1999 ; Hirai, Sato and Charlchai, 1999 など)。そのうち、平井(1999)・Hirai, Sato and Charlchai (1999)では、海跡湖における一般的な海面上昇の影響予測評価の手法について討論し、IPCC CZMS (1992)の海面上昇に対する各国の脆弱性評価の共通手法を参考にして、海跡湖での海面上昇の影響予測評価の手順を、七つのステップに分けて示した(図1)。この際筆者は、海面上昇の影響を予測し評価するためには、各地域が抱えている外的および内的ストレス、また地域的あるいはその土地固有の特質を十分に考慮することが重要であると強調した。すなわち、各地域が将来に向かって変貌(発展/停滞/衰退)していく過程で、それを促

進/阻害すると考えられる様々な自然および社会・経済的条件を、できる限りあらかじめ抽出し確認しておくことが重要である。前稿では、そのような条件をIPCC CZMS (1992)の共通手法の中に出てくるDevelopment Factorsという術語をそのまま用いた。本稿でも、適当な日本語が見あたらないので、Development Factorsのまま使いたい。

以下では、まず研究対象地域としているソクラー湖全体の自然および社会・経済システムの特徴について整理した(ステップ③)。そしてソクラー湖の一部であるサップソクラー湖の湖岸・海岸地帯の区分と類型化(ステップ④)を行い、その後類型化された各地区でのDevelopment Factorsの抽出と、海面上昇の影響を予測した(ステップ⑤)。最後に、サップソクラー湖全体の海面上昇の影響予測と評価を行った(ステップ⑥)。

ソクラー湖における自然および社会・経済システム

本研究では、対象地域の自然システムの特徴を明らかにするために、地形条件と水文条件を取り上げた。このうち地形条件は、単に土地の高低だけでなく、水文環境や土地および水利用の特徴を明らかにするための基礎的条件として、5万分の1地形図を基図として衛星写真判読および現地調査によって地形分類を行った。以下に、前稿(平井, 1999)にもとづき研究対象地域の自然および社会・経済システムの概要を記す。

1. 自然システム

地形条件: 本研究で研究対象地域としているソクラー湖は、タイ国南部マレー半島東岸に位置する南北約90 km, 東西約25 km, 面積1182 km²の海跡湖である。一般にソクラー湖と呼ばれるが、湖盆は北側のノイ湖(Thale Noi), 中央のルアン湖(Thale Luang), そして南側のタイランド湾と直接つながっているサップソクラー湖(Thale Sap Songkhla)の3つの湖盆に分かれている(図2)。

このようなソクラー湖を取りまく湖岸地帯は、低地の地形的特徴から大きく、①東のタイランド湾と湖盆とを隔てる浜堤列平野(Beach Ridge Plain), ②ノイ湖とその周辺の湿地帯(Thale Noi and Phru Khuan Khreng), ③ルアン湖西側の湖岸低地帯(Lacustrine lowland of Thale Luang), ④サップソクラー湖西岸から南岸の三角州性低地(Deltaic

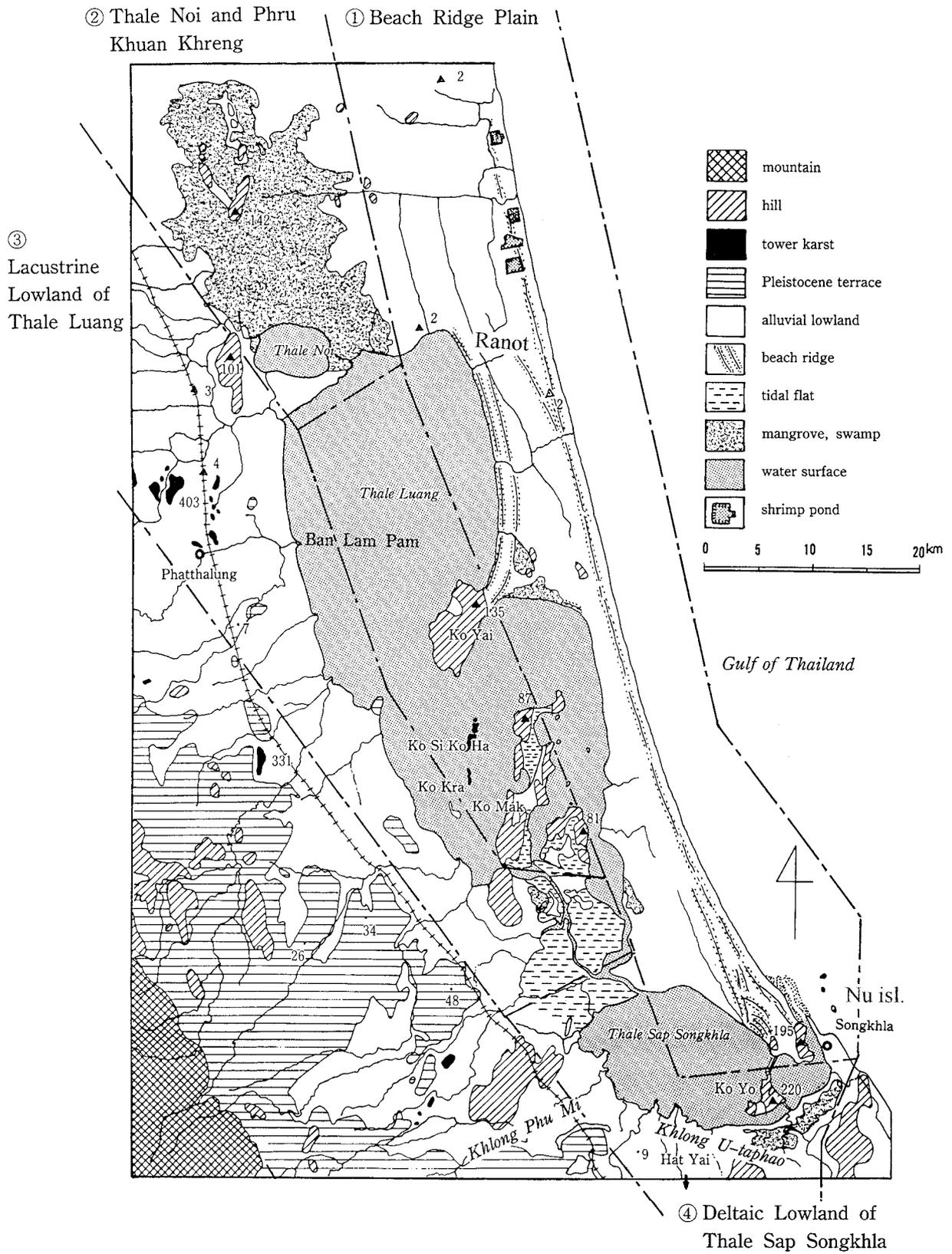


図2 ソンクラ湖周辺の地形分類図 (平井, 1999 を一部改変)
 Fig.2 Geomorphological classification map of the Songkhla Lake area (Hirai,1999)

Lowland of Thale Sap Songkhla) の、4つに分けられる。

このうち浜堤列平野は、幅 3~8 km、標高数 m 以下で、現在の海岸線とほぼ並行するように何本もの浜堤列が発達している。それぞれの浜堤の頂面高度は、おおむね標高 2~3 m で、堤間低地との比高は約 1~2 m である。ただし、浜堤列平野最南端部の海岸では、頂面の標高が約 4~5 m の砂丘も見られる。

水域面積 26 km² のノイ湖周辺には、面積 126 km² に及ぶ広大な湿地帯 (Phru Khuan Khreng) が広がっており、水生植物が群生する狭義の湿地のほか、草原や泥炭湿地林・熱帯常緑林なども見られる。そしてルアン湖西岸は、標高数 m 以下の、海成/湖成の湖岸低地となっており、南のサップソクラー湖の西岸から南岸にかけては、背後の山地・丘陵地から流れ出る諸河川などがつくる現成および過去のデルタが発達し、三角州性低地が広がっている。

水文条件: ソクラー湖一帯は熱帯モンスーン気候で、年間の季節的变化は少なく、降水量は流域全体平均で年間約 2100 mm である。西のアンダマン海との流域界をなす山脈が半島の中央をほぼ南北に走っているため、北東モンスーンの吹く冬季 (10月~12月) に山地域で大雨となり、年によっては激しい洪水が引き起こされる (NESDB, 1985)。ソクラー湖南東端に位置するソクラー市では、1956年から 1985 年までの 30 年間の年平均降水量は 2078.7 mm で、雨季に当たる 10月~12月 3カ月間に年降水量の 6割強の 1298.3 mm が降っている。これとは対照的に、1月~4月の乾季には毎月の降水量は 100 mm 以下で乾燥がきびしい。5月~9月は乾季であるが、毎月 100 mm 以上の降水がある (平井, 1995 a)。

ソクラー湖の平均水深は、ノイ湖が 1.1 m、最大のルアン湖が 1.8 m、サップソクラー湖が 1.5 m といずれも非常に浅い。平均的な塩分濃度はルアン湖南部で 5~20%、同北部で 1~10%程度と、全体として汽水となっている。しかし、乾季と雨季で、湖の水位・水深、湖岸線の位置、湖水面積、塩分濃度などは大きく変化する。すなわち、北東モンスーンが吹く雨季に海水面が高くなるため、湖の水位は 12月に最大となる。通常毎年の洪水のピークは +1 m で、湛水期間は約 1週間ほどであるが、大きな洪水が起こると湖水位は上流の湖で +2 m まで上昇する。湖水位が上昇すると、湖岸線は場所によっては数百 m も後退し水面は広範囲に広がる。

2. 社会・経済システム

土地利用・水利用: 浜堤列平野の一般的な土地利用は、浜堤のリッジ部分に主要道路が走り、それに沿って集落が細長く発達する。ここでは、ココヤシやサトウヤシの他、マンゴー、マンゴステイン、ジャックフルーツ、チョンブーなどの果樹栽培が盛んである。これに対し、堤間低地は一般的に水田として利用されている。また、ヤイ島 (Ko Yai) 半島より北側では海岸線から約 2.5 km 内陸までの部分に、近年急速にエビの養殖場が広がっており、同時に激しい海岸浸食が起こっている。ラノット (Ranot) 地区での聞き取りによると、この 10 年間に海岸が約 35~40 m も浸食されて、2回も内陸側に家を移さざるを得なかったという。

ノイ湖とその周辺地域は 1975 年に禁猟区に指定され、地元では「ノイ湖水鳥公園 (Thale Noi Waterfowl Park)」として知られ、現在はラムサール条約の登録湿地ともなっている。しかしながら、森林部分では地域住民によって木材や薪炭材として伐採も進んでいる。

ルアン湖西岸での一般的な土地利用は、水田である。しかし近年は、水田のほかに、ココヤシ、カシューナッツ、バナナ、パイナップル、ジャックフルーツなどの果樹栽培や、養豚・乳牛の放牧も行われている。さらに一部の農家では、水田に小規模な養魚池をつくり、ナマズや淡水エビなどを育ててマレーシアに輸出している。すなわちこの付近では、水田耕作を主としながらも、多種の生業を営んでいることが特徴で、混合農業地帯として位置づけられる。基幹である稲作は、基本的には年 1 回の収穫であるが、ルアン湖西方山地での灌漑用ダムの建設によって、年 2 回、場所によっては年 3 回の収穫地域が広がっている。

ソクラー湖東側の浜堤列平野と西岸の湖岸低地では、浅層の海浜または氾濫原堆積物中に存在する地下水が、これらの地域の重要な生活用水になっている。この浅層地下水はその量が限られており、また汚染されやすいという特徴を持つ。

サップソクラー湖西岸から南岸に広がる三角州性低地の土地利用と水利用については、次で詳述する。

サップソクラー湖湖岸の区分と類型化

本章では、上に述べた自然および社会・経済システムの特徴に基づいて、湖岸地帯の地域区分と類型化を行う。ソクラー湖全体については、具体的な

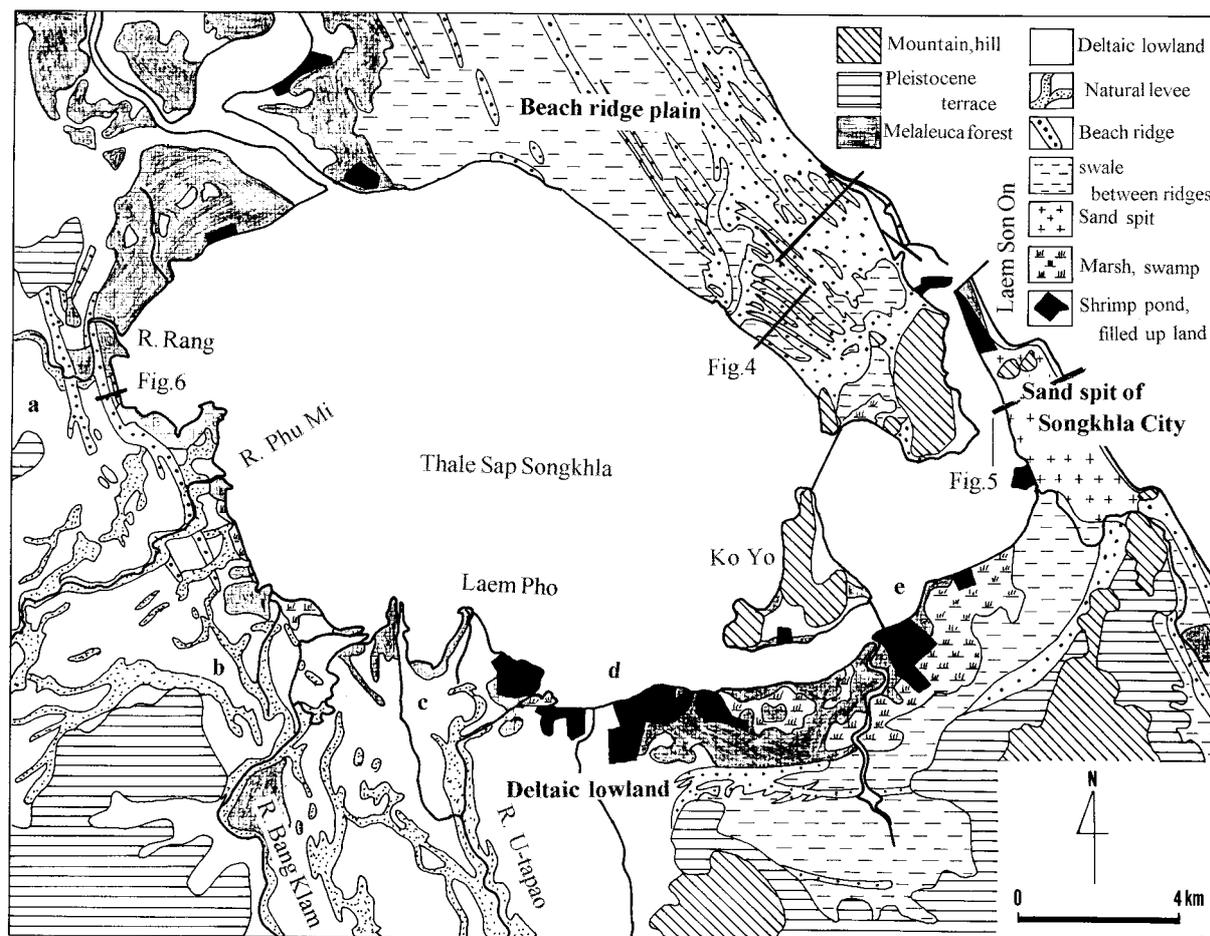


図3 サップソクラー湖の地形分類図

Fig.3 Geomorphological classification map of Thale Sap Songkhla

資料や現地調査が十分でないので、以下では多くの地形要素が存在し、多様な土地利用が見られるサップソクラー湖の湖岸を対象として、地域区分と類型化を行った。

サップソクラー湖の湖岸地帯は、微地形と土地利用の違いから、①サップソクラー湖北東岸の浜堤列平野部分 (Beach ridge plain)、②ソクラー市の市街地が広がっている湖口より南側の砂嘴部分 (sand spit of Songkhla City)、そして③サップソクラー湖西岸から南岸に広がる三角州性低地 (Deltaic lowland) の3つの地区に分けられる(図3)。以下、3地区の微地形や土地利用の特色について述べる。

1. 浜堤列平野

微地形：サップソクラー湖の北東岸は、ソクラー湖の湖盆とタイランド湾とを隔てる延長約75 kmの浜堤列平野の最南端部で、幅約5 kmを有する。ここでは海岸線に並行して、幅がそれぞれ100～

300 mの浜堤が何本も発達している。とくに海側の約2 kmの範囲には、明瞭な浜堤が3列～7列認められ、ソクラー湖側にも1列～3列の比較的明瞭な浜堤が存在する。さらに浜堤列平野中央の低地にも、一部埋没しかけた浜堤が数列認められる。

浜堤列平野最南端部では、サップソクラー湖の湖岸からタイランド湾の海岸まで明瞭な18列の浜堤が認められる(図4)。それぞれの浜堤の幅はおよそ100～200 mで、中央の国道408号付近では人為的に若干平坦化されている可能性がある。

上記の18列の浜堤列は、その規模(幅と頂面の高さ)、平面的な位置と南北方向への連続性から、海岸よりの7列(約2 km)と、湖岸よりの5列(約1.3 km)、そして両者の中間にある6列(約1.2 km)の3つの部分に区分できる。このうち海側の7列の浜堤は、頂面の高さが海面より約2 m前後と規模が大きく、北側によく連続する。湖側の5列の浜堤も

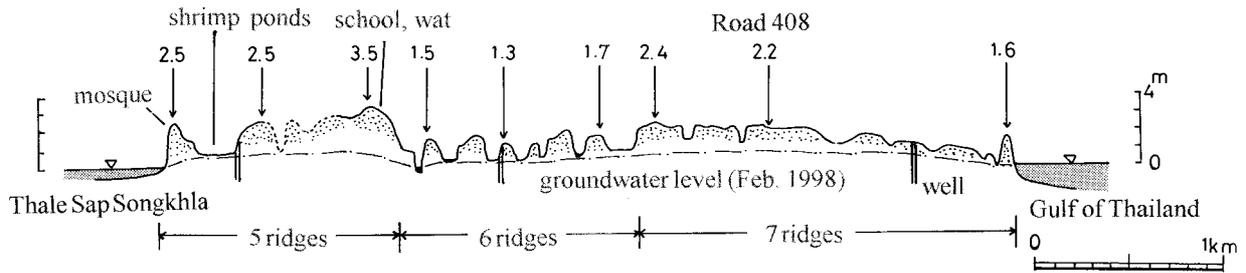


図4 浜堤列平野の地形断面図

Fig.4 Geomorphological cross section of the southern part of the Beach Ridge Plain

比較的明瞭で規模が大きく、頂面は海面から2 m以上で最高3.5 mに達し、堤間低地の高度も海面から1 m程度ある。これに対し中央の浜堤列は、頂面高度が海面から1.5 m前後と低く、堤間低地も海面から0.5 m以下の高さでその一部は湿地化し、リッジの北側延長は低地に埋没する。

地下水：潮汐表によると、ソンクラ市沖のヌー島(Ko Nu)における海水面の日変化は、季節によって異なるが20~80 cmほどである。年間では、北東モンスーンが海から陸地に向かって吹き雨季となる11月が最も高く、+0.1~0.4 m、逆に陸からタイランド湾側に向かって南西モンスーンが吹き乾季となる7月の終わりに最も低く、0~-0.8 mとなる。一方、サップソンクラ湖の湖岸では、雨季に+0.6 m、乾季には-0.5 mほど低下する。なお、1988年11月の大洪水時には、断面図のサップソンクラ湖湖岸で最高水位が+1.8 mに達した。

海岸よりの浜堤群のうち、高さ約1 mの浜堤上にある井戸では、雨季には地表まで地下水が上昇すると言う。平野中央部でも井戸水を利用しているが、乾季には塩水化するため飲用には適さず、もっぱら洗濯と灌漑用である。海面からの高さが0.5 mしかない堤間低地の最も低い部分が湿地になっていることから、平野中央部分の地下水位は、おおむね0.5 m付近と推定される。湖側の浜堤上にも井戸があるが、やはり地下水に塩水が混じるので、利用はもっぱら洗濯用である。なお、飲用水はいずれも雨水を貯めて利用している。

以上まとめると、浜堤列平野南部の地下水は雨季には淡水であるが、乾季には一部が塩水化する。地下水位は、雨季には海岸および湖岸よりで平均海面から+0.8~1 m、乾季には海面と湖水面の低下に伴って若干(1 m以内)低下する。平野中央部分では、地下水位も低く+0.5 m以下と推定される。

土地利用：海岸よりの浜堤部分のうち、標高の低い部分はメラルカ林および湿地である。近年1 mほど盛り土して広い道路が造られ、その両側に新しい寺院や公園など、急速に開発が進んでいる。高さ1~1.5 mの浜堤上では、マンゴーやマンゴスティン、ココナッツ、スイカなどの果樹および野菜畑が広がっている。海側の浜堤群のほぼ中央の高さ2.2 mの地点を国道408号が走る。

平野中央部では、いずれも浜堤上に村落の主要道路が走り、それに沿って家屋が並んでいる。個々の農家の周囲には、スイカなどの野菜のほか、パパイヤ、ジャックフルーツなどの果樹園、ニワトリやアヒルの養鶏場などが見られ、竹林となっているところも多い。浜堤上のかつての林地が、材木や薪として伐採され裸地になっているところもある。一方、堤間低地はかつて水田であったが、現在は不耕作地となって放棄されているところが多い。この付近は、ソンクラ市やハジャイ市などに近いため、現金収入を得るために都市部に出稼ぎに出る人が多い。

湖側の浜堤群のうち、最も湖岸に近い浜堤上には、船大工小屋とモスクがあり、イスラム系住民が多い漁業集落となっている。その浜堤の内陸側には、4年前(1994年頃)につくられたエビの養殖池が広がっている。養殖池は、もとの水田を70~80 cm掘り下げ、その土で池の周りを高さ約1 mの堤防で囲み、一辺が50~60 mの池を連続して複数作っている。かつて水田の畦に生えていたパルミラヤシは、地下水が塩水化したため一部が立ち枯れている。最も高い高さ3.5 mの内陸の浜堤上には、比較的まとまった集落が見られ、タイ式寺院や学校、大規模な倉庫など、この地区の公共施設が立地している。

2. 砂嘴(ソンクラ市街地)

微地形：ソンクラ市の中心市街地が広がる砂嘴

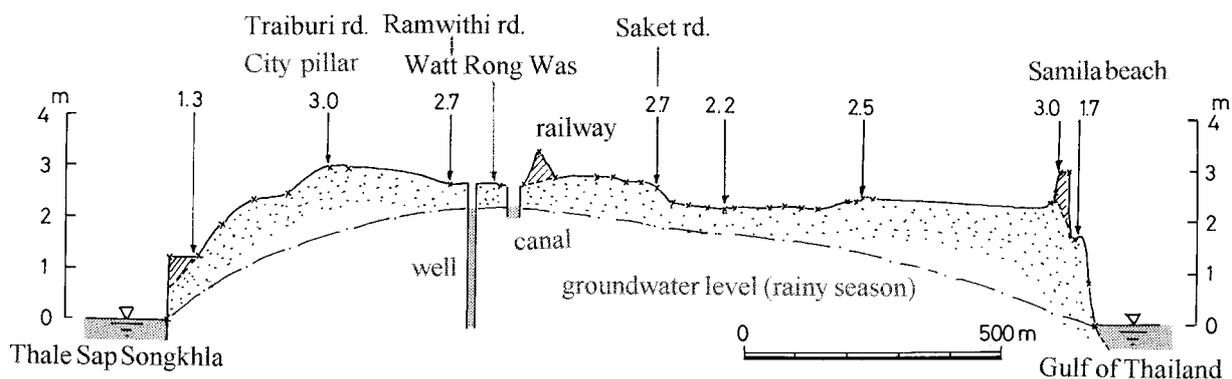


図5 砂嘴（ソクラー市）の地形断面図

Fig.5 Geomorphological cross section of the Sand Spit of Songkhla City

は、幅 1.8 km、延長約 5 km で、全体として海面より +2~3 m の高さを有する。海側には海面からの高さ 3 m、幅 20 m の海岸堤防を兼ねた道路が造られ、湖側にも護岸および堤防が築かれている（図 5）。ここは古くから市街地化が進み、人工的に平坦化された部分もあるため、砂嘴本来の自然地形を正確に復元することは困難である。しかし、砂嘴中央の鉄道（廃線）をはさんで、海寄りの部分と運河付近は、その周辺よりやや低い。先に述べた浜堤列平野南部の浜堤群を参考にすると、市街地全体が一つの砂嘴上にあるというよりも、それぞれの幅が約 400 m の 3 列の高まり（浜堤）と、その間にある幅約 300 m の低まり（堤間低地）とからできていると推定される。

地下水：砂州中央の寺院（Wat Rong Was）境内にある井戸では、地下水位は月 100 mm ほどの降水がある乾季後半の 5 月頃から上昇し始め、本格的な雨季となる 10 月頃にはほぼ地表面まで達し、雨季の終わる翌年 1 月まで高い。その後、2 月からは水位が低下し、4 月の末にはほぼ海面と同じくらいになる。1998 年 2 月の調査時には、井戸の地下水面は地表面より約 -1 m ほどであった。

井戸水は淡水であるが、いわゆる「淡水レンズ」として存在する。「真水と海水との比重の差によって、力学的に海面より上にある真水の厚さの 40 倍の深さまで真水が存在する」という「ガイベン・ヘルツベルグの法則」によって、まわりを塩分の濃い海水に囲まれていても、均質な砂からなる砂州・砂嘴中には下半分が厚い凸レンズ状の真水が存在する。日本の京都の天橋立の中央に湧き出す「磯清水」（平井、1995 b）や、砂州ではないが多孔質で割れ目

が発達した玄武岩である中海の大根島の「淡水レンズ」（徳岡、1998）などは有名である。

土地利用：現在のソクラー市街地のうち、湖よりの最も高い地点に、“City Pillar”と呼ばれるものがあり、ここより湖岸側が旧市街地である。本市街地で最も高いトラブリ通り（Traiburi Rd.）とラムウイテイ通り（Ramwithi Rd.）の間には多くの寺院がある。サケット通り（Saket Rd.）より東側は、新しい商店や分譲の戸建て住宅地となり、海側には、市庁舎、工科大学、裁判所や、競技場、ゴルフ場などの公共施設が見られる。海岸は、幅 50~60 m、延長約 4.5 km の砂浜（サミラビーチ：Samila Beach）となっているが、南部のカオセン村（Ban Kao Seng）では、この 20 年ほどの間に海岸の砂浜の浸食が急速に進んだため、漁村が内陸に移動せざるを得なかったという（平井、1995 a）。

ソクラー市街地が広がる幅 1800~2000 m の砂嘴の北側には、幅約 500 m、延長約 2 km の新しい砂嘴ソクオン岬（Laem Son On）が延びている。この部分は、海面からの高さが 0.5~1 m 以下で、海側の砂浜の背後は樹高 10 m 以上の松の生い茂る低湿地で、反対の湖岸側は整地されて港湾および海軍関係の役所や公園となっている。湖岸側の堤防は、湖水面から +2.2 m の比高があるが、砂嘴先端の公園は湖面からわずかに +0.9 m の高さしかない。

3. 三角州性低地

サップソクラー湖の南岸では、ハジャイ市内を流下するウタパオ川（Khlóng U-Tapao）やバンクラム川（Khlóng Bang Klam）、そして南西岸にプミ川（Khlóng Phu Mi）などの諸河川が流入し、低平な三

角州性低地をなしている。湖岸低地一般の高さは、湖水面から0.5~1 m以下で非常に平坦である。そして、河道はいくつにも分岐して、いわゆる鳥趾状三角州をつくり湖岸線は屈曲に富む。

この低平で広大な三角州性低地は、微地形の違いと土地利用の特色から、a. 浜堤・後背湿地/水田地区、b. 自然堤防/近郊野菜地区、c. 新デルタ/住宅・工場地区、d. メラルカ林/エビ養殖地区、e. メラルカ林/公共施設地区の、5地区に細分される。以下、各地区の微地形と土地利用の特色を述べる。

a. 浜堤・後背湿地/水田地区

サップソクラ湖西岸のラン川 (Khlóng Rang) 河口から、プミ川河口に至る約6 kmの湖岸低地には、湖岸線に並行する2列の浜堤(湖岸側より浜堤I、浜堤IIとする)と、その背後の低平な後背湿地、そしてその内陸側に見られる標高約10~20 mの更新世の段丘が特徴的である(図3)。浜堤および段丘の段丘崖下は、集落や野菜畑・果樹園で、後背湿地は広く水田となっている。段丘面上および内陸の丘陵地はパラゴムのプランテーションが広がっている。

この地区の湖岸付近の地形断面測量の結果、湖岸の水際に、幅50 m、湖水面からの比高0.5~0.6 mの小規模な現成の浜堤が認められる(図6)。その背後は、幅約200 m、湖水面からの比高が0.5 m前後の低地で、その内陸側に幅約200 m、比高最大2.1 mの浜堤Iが発達している。湖水位が上昇する雨季には、湖岸線は現成の浜堤を越えて浜堤I前面の低地の2/3ほど、湖水面からの比高約0.4 mまで達す

る。集落が立地している浜堤Iは、過去の洪水でも浸水していない。浜堤Iの背後に広がる低地は、幅約500 m、湖水面からの比高0.6 m以上で、その内陸側に、幅約200~300 mの浜堤IIが認められる。

浜堤Iのほぼ中央には、幅10 mの道路が走っており、その両側に農家がある。家屋は、湖水面から比高2 m以上の浜堤の最も高いところにあり、その両側の斜面は自家用の野菜畑や果樹園(バナナ、パパイヤなど)として利用している。また、水田の畦および浜堤上には、パルミラヤシが植えられており、その果樹液からサトウを作っている。それぞれの農家には井戸があり、地下水面は地表から-0.5~-0.7 mで、湖水面より約1 m高い。井戸水には塩分は含まれていないが、水質が飲用には適さないため灌漑専用である。飲用水は、浜堤列平野と同様に雨水を大きなポットに貯めて利用している。

b. 自然堤防/近郊野菜地区

プミ川河口からバンクラム川河口に至る約7 kmの湖岸では、浜堤I・IIは見られず、幅100~400 mの自然堤防が良く発達している。しかし、自然堤防の湖水面からの比高はあまり大きくない。例えば、現在のプミ川河口の北側にある旧河口付近の自然堤防上に立地するファハット村(Ban Hua Hat)は、湖面より+1.2 mで、湖岸から700 m内陸にあるお寺(Wat Khlóngkha Wadi)が建っている自然堤防は、湖水面からの高さは+1.5 mである。

自然堤防上の土地利用は、集落のほか、ハジャイ市に近いので、スイカ、ネギ、ミント、ヨウサイ(タイ語でパップーン:Pakbung)、キンマ(Piper betele)

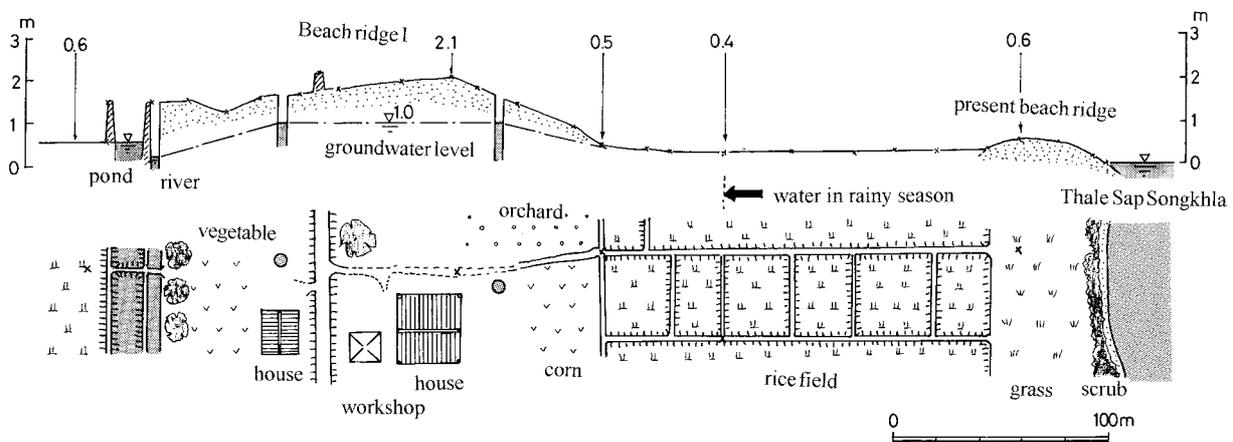


図6 三角州低地北西部の地形断面図

Fig.6 Geomorphological cross section of the north-western part of Deltaic Lowland of Thale Sap Songkhla

などの野菜や、ココナッツ、カシューナッツ、バナナ、オオフトモモ(チョンプー: Chompoo)、スターフルーツ、マンゴーなどの市場向けの野菜や果物の栽培が盛んである。しかし自然堤防の湖水面からの比高が小さいため、雨季には湖が増水してたびたび浸水する。例えば、バンクラム川下流の湖岸から約1 km 内陸の自然堤防上では、1988年11月の大水害時に湛水深が120 cm、湛水期間が約2週間にもおよび、家屋も被害を受けた。1996年の雨季にも、野菜畑が約20 cm 浸水して被害を受けたと言う。

一方この地区では、深さ数 m の浅井戸と深さ約50 m に達する深井戸の両方を使っている。浅井戸の地下水位は、地面から一約1 m と湖水位とほぼ同じで、もっぱら洗濯用である。飲用水は、淡水である深井戸からポンプで汲み上げて利用している。しかし、湖岸に近いファハット村では、2月～9月の乾季には湖の塩分の影響があるとのことであった。

c. 新デルタ/住宅・工場地区

現在のウタパオ川の河口付近とその東側のポー岬(Laem Pho) 付近の約5 km の湖岸低地は、自然堤防はあまり発達せず、湿地およびメラルカ林が広がっている。しかしながら、ここには例えば現ウタパオ川の河口から3 km の右岸に“Songkhla Laguna”という大規模な高級集合住宅がつくられ、ポー岬の約1 km 内陸側にも建て売り住宅が立ち並んでいる。この地区は、ハジャイ市から車で約20分と近くて土地が安く、川や湖のそばで涼しく空気が良いなどの理由から、かつて水田であったところに上述のような都市住民の住宅がつくられている。また、少し上流のウタパオ川およびバンクラム川の河道沿いには、水産加工工場や缶詰工場が立地し、河川や湖の水質汚染も心配されている(平井, 1999)。

d. メラルカ林/エビ養殖地区

ポー岬より東側の約7 km の湖岸には、大規模なエビの養殖池が並んでいる。この地区は、かつてマングローブ林およびその背後の淡水湿地林(主として *Melaleuca leucadendra*: カユプテ) が広がる湖岸湿地であった。それらを切り開いて、1980年代後半から大規模なエビの養殖池が造られ始め、90年代に入って急速に拡大してきた。しかし、このような大規模なエビの養殖池は、水質や底泥の汚染のため、生産開始から5年ほどで生産性が落ちる(末廣, 1993; 平井, 1999)。そのため、サップソンクラーク

湖の南岸だけでなく、ルアン湖南部に浮かぶマック島(Ko Mak) やナンカム島(Ko Nang Kham) などの島の低地や、ルアン湖とサップソンクラーク湖とを連絡している水路の両岸、さらにサップソンクラーク湖の北岸など、従来メラルカ林であった湖岸湿地やかつて水田であったところに、次々と新しいエビの養殖池が広がっている。

e. メラルカ林/公共施設地区

サップソンクラーク湖南東岸の、ヨー島への橋の両側それぞれ約4 km の湖岸低地は、以前はやはりマングローブ林や淡水湿地林の広がる湿地帯であった。しかし、現在より約20年ほど前に、ヨー島を経由して北東岸の浜堤列平野へと続く新しい橋が建設された後、湖岸湿地の開発が急速に進み、現在ではソンクラーク市民病院や水産大学などの公共的な施設のほか、大規模な工場の建設など急速に都市的な土地利用が広がっている。

サップソンクラーク湖における 海面上昇の影響予測

本章では、前章で類型化した3地区ごとに、将来の海面上昇の影響を予測する。その際、第II章でも述べたように、評価対象地域の自然および社会・経済システムの中で、将来の海面上昇に対して何がそれぞれの地域にとって最も重要な要素なのか、すなわち各地区における Development Factors を抽出しておくことが必要である。そこで、以下では研究対象とした3地区の Development Factors を確認した上で(表1)、海面上昇の影響を予測しその評価を行う。

なお、海面の上昇は今後100年間に約50 cm、最大およそ1 m と予測されている(IPCC編・環境庁地球環境部監修, 1996)ので、ここでは0.5 m の上昇と1 m の上昇の2つの場合について考える。

1. 浜堤列平野

サップソンクラーク湖の湖盆とタイランド湾とを隔てている浜堤列平野は、前述のように個々の浜堤の地形的違いと土地利用変化の特色から、異なる3つの部分からなる。すなわち、海側の国道までの約2 km の部分は、海面からの高さが2 m 以下で、従来湿地およびメラルカ林であったが、近年急速に都市的な開発が進んでいる。今後、そのような土地利用変化が進行すると思われ、この地区では「都市化」

表 1 サップソクラー湖岸の各地区における Development Factors
Table 1 Development Factors of three geomorphological zones of Thale Sap Songkhla

Geomorphological zone	Development Factors
Beach ridge plain	Shrimp farming
	Drainage, Ground water
	Coastal erosion
Sand spit	Coastal erosion
Deltaic lowland	Flood, Inundation
a. Natural levee, Back marsh	
/ rice field	Flood, Inundation
b. Natural levee/ Truck farming	Truck farming
c. New delta/ Housing, Canning factories	Urbanization
d. Melaleuca/ Shrimp farming	Shrimp farming
e. Melaleuca/ Public facilities	Urbanization

が重要な Development Factors となる。一方、湖岸側の部分は浜堤の規模が大きく、集落はその上に限って分布する。しかし、堤間低地では、かつての水田がこの4~5年の間にエビ養殖池へと変化しており、これからもしばらくはその傾向は継続すると予想される。したがって、この地区での Development Factors として、「エビ養殖」を挙げる。

浜堤列平野の中央部分では、近年堤間低地での水田耕作が放棄されて不耕作地が広がっているほかは、あまり際だった土地利用変化は見られず、今後も急速な土地利用変化は起こりにくい。しかし、この地区の浜堤および堤間低地の高さは、海側および湖側と比べて全体的に0.5~1 mほど低い。そのため、将来の海面上昇に対して、「排水」や「地下水」問題が Development Factors となる。

0.5 m の海面上昇；海岸側と湖岸側いずれも、海面からの高さ1.5~2.5 mの浜堤が発達しており、直接浸水する低地の面積はそれほど大きくはない。しかし、海面上昇によって、浜堤基部の浸食が激しくなり、海側の低い浜堤上の公園やキャンプ場、また湖側の堤間低地に造られたエビ養殖池などは、一部使用不能となる可能性がある。とくに、雨季の洪水時には、湖側の湖岸に近い堤間低地は、浸水や湛水の被害が大きい。そして、平野中央部分の堤間低地

では、最も低い低地の高さが0.5 mほどしかなく、0.5 mの海面上昇でも恒常的に排水不良の湿地となって、将来の土地利用が制限される。

1 m の海面上昇；海岸および湖岸の浜堤の浸食が激しく進み、海側では現在の海岸線から内陸に500 mほどが水没し、内陸の堤間低地の一部も浸水する。とくに、平野中央部分では、浜堤も含めてかなりの部分が湿地化する。湖岸側でも、約500 m内陸にある2番目の浜堤付近まで浸水し、エビの養殖池や一部浜堤上の家屋や畑地・果樹園にも、被害が発生する。

2. 砂嘴（ソクラー市街地）

市街地となっている砂嘴部分は、全体として土地の高さが海面より2~3 m以上あり、海側も湖側も堤防または護岸によって人工的に守られている。しかし、タイランド湾に面した砂浜では、最近の約20年間海岸の浸食が激しく進行している。例えば、砂州南東端の海岸にあるNICA（National Institute of Coastal Aquaculture）の敷地では、1998年1月に幅約10~20 mあった砂浜がいきなり浸食され、護岸とフェンスが根こそぎ倒壊して、防風林として植えてあるトキワギョリュウ（タイ語でソン；Son, *Casualina equisetifolia*）が立ち枯れた。このような近年の激しい海岸浸食の原因として、直接的には海岸の港や河口付近に設けられた突堤や導流堤によって沿岸漂砂の移動が阻止されたこと、間接的には流出河川の中・上流のダム建設による供給土砂量の減少や、海岸での砂の大量採取、またタイランド湾沿岸での石油や天然ガスの掘削による海岸地域の地盤沈下などが指摘されている（Prinya, 1993）。したがって、将来的にも「海岸浸食」が、この地区の Development Factors となる。

0.5 m の海面上昇；市街地には直接的な影響は及ばないが、現在観光リゾート地となっているタイランド湾側のサミラビーチでは、砂浜の浸食がより激しくなり、砂浜そのものが消失する可能性がある。また、市街地の北端にある現成の砂嘴（ソンオン岬）は、海面からの比高が0.5~1 m以下なので、とくに低くなっている砂州東側の松林地帯は水没する。

1 m の海面上昇；市街地には直接的な影響は少ないと予想されるが、海側の砂浜の浸食はより深刻となる。湖側では、堤防がなく低い護岸しかない湖岸の一部で、浸水や土地の浸食の危険性がある。砂嘴北部の公園一帯は、海面からの高さが1 m以下な

ので水没し浸食されてしまう。また砂嘴南部の湖岸を埋め立てて造成された魚市場や港湾施設などでは、それらの機能が低下・使用不能になる可能性がある。そして前述のように、「淡水レンズ」としてこの砂嘴中に存在している地下水は、海水面や湖水面の上昇によって、その容量が大きく減少する。

3. 三角州性低地

サップソンクラーク湖の西岸から南岸にかけての三角州低地は、さらに5つの地区に区分されるが、いずれの地区も土地の高さが低く、現在でも雨季の洪水時には、湖岸の広い範囲が浸水している。すなわちこの三角州性低地では、「洪水」「浸水」が共通する Development Factors である。そしてこれに加えて、自然堤防地帯では「近郊野菜生産」が、新デルタとメラルカ林では「都市化」と「エビ養殖」が Development Factors となる。

0.5 m の海面上昇；浜堤列・後背湿地地区では、現在の湖岸線より内陸に 250 m、浜堤 I の基部まで湖岸線が後退し、浜堤・背後の後背湿地も一部浸水し、排水不良となる。一方自然堤防地区では、自然堤防上は湖水面からの高さがおよそ 1~1.5 m なので直接水没しないが、その周りの後背湿地は広い範囲が水没する。自然堤防上でも、雨季の洪水時には現在以上の頻度で浸水被害が多発し、湛水深の増大や湛水期間の長期化が懸念される。

南岸の新デルタやメラルカ林地区では、湖岸の低地の土地の高さが低いので広い範囲が水没し、雨季の洪水時の被害が大きい。とくに、これらの地区では、大規模なエビ養殖池および住宅・工場、公共施設などの都市的な施設が広がっているので、いったん浸水被害を受けるとその影響は大きい。また、この低地全体で地下水位が上昇し、また地下水への塩分の混入によって、現在灌漑用水として利用されている浅層の地下水は、利用しにくくなる可能性がある。

1 m の海面上昇；浜堤・後背湿地および自然堤防地区では、湖水面からの高さが 1.5 m 前後の浜堤 I や自然堤防はいずれ浸食され、周辺の後背湿地も広く水没し、最終的には湖岸線は現在より数 km 内陸まで後退する。雨季には、浜堤 II 上でも浸水や土地の浸食被害等を受けることが予想される。

新デルタやメラルカ林地区でも、0.5 m の海面上昇時以上に浸水範囲が広がり、洪水による都市施設への被害がより深刻になる。また湖岸の広範囲で地

下水が上昇し、排水不良あるいは湿地化する恐れがある。

サップソンクラーク湖全体における海面上昇の影響予測と評価

サップソンクラーク湖の湖盆全体の海面上昇の影響予測と、その評価を行うために、将来海水面および湖水面が 1 m 上昇したと仮定し、その時に予測される海岸線／湖岸線のおよその位置を示した(図 7)。この地域では、0.5 m または 1 m 間隔の詳細な地盤高図は、現在のところ存在せず、水準点も利用できない。また、湖水位は雨季と乾季で -0.5 m ~ +1.5 m も変動する。そのため、第 7 図に示した湖岸線の位置は、湖岸の何方所かで測量した結果と、洪水時の浸水深の聞き取りによって推定したおよその位置である。とくに、サップソンクラーク湖南岸の三角州性低地のうち、新デルタやメラルカ林地区の内陸部では、土地の高さを知る手段がない。そこで、西岸の浜堤／自然堤防地区と東岸の砂嘴で推定した位置から、地形的に両者をつなげたおよその推定線である。

上記のような点を考慮しながら、サップソンクラーク湖全体での海面上昇の影響予測の評価を行うと、

① 1 m の海面／湖面上昇による海岸線／湖岸線の後退は、タイランド湾側の浜堤列平野やソンクラーク市の砂嘴部分では、せいぜい 500 m ~ 1 km 程度なのに対し、サップソンクラーク湖西岸～南岸の三角州性低地では、1 km ~ 3 km 以上内陸まで水没すると予測される。とくに三角州性低地では、雨季には湖水面の上昇と、山地・丘陵地からの河川の流入によって、現状よりさらに激しい洪水が予想される。洪水以外の時も、西岸の浜堤の内陸側や南岸の自然堤防に囲まれた後背湿地では、排水不良や土地の湿地化が進む。その影響の範囲は、明確に図示することはできないが、もともとこの地区が非常に低平であることを考えると、かなり広い範囲に及ぶと推測される。

三角州性低地のうち、ウタパオ川やバンクラム川の下流、およびヨー島への橋近くの湖岸では、ハジャイ市やソンクラーク市の都市域の拡大、都市化の進展にともなって、都市的な施設の建設が今後ますます進むと予想される。これらの都市的な土地利用や施設への被害について、将来深刻な問題となる可能性がある。

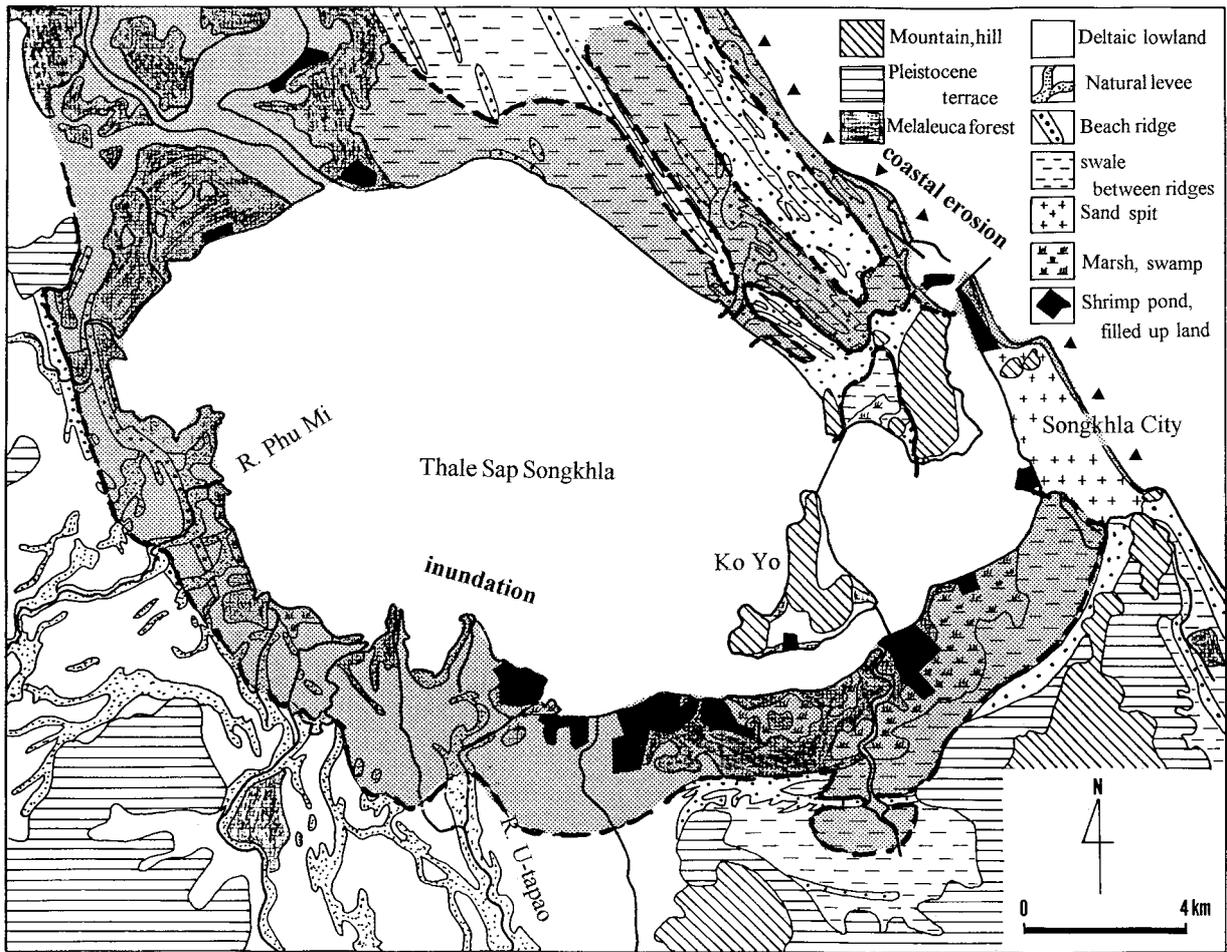


図7 サップソクラー湖における海面上昇の影響予測評価図
 Fig.7 An assessment map of impacts of sea-level rise on Thale Sap Songkhla

②一方、浜堤列平野や砂嘴の海岸では、海面上昇によって砂浜の浸食がますます激しくなる。浜堤列平野では、もし堤防や護岸などの人工構造物で浸食を防止しなければ、1 m の海面上昇により水没する範囲を越えて砂浜の浸食が進み、第7図に示した線よりさらに内陸側まで海岸線が後退する恐れもある。

現在、堤防や護岸で守られているソクラー市の市街地でも、浸食が激しくなれば堤防の嵩揚げ等が必要になろう。なお、ソクラー市街地先端の現成の砂嘴部分は完全に水没し浸食されると予測される。そうすると、ソクラー湖の湖口の幅は、現在の約 500 m からその 2~3 倍になり、湖内と外洋水との水の交換、流入・流出の割合が高まり、湖内の塩分濃度の上昇や湖岸の地下水へ塩分の混入が増大するなどの、大きな影響が湖岸地帯に及ぶ。

③サップソクラー湖の南岸では、1980 年代の

後半からとくに 1990 年代以降、大規模なエビの養殖池が造成されている。この 4~5 年、とくに 1990 年代の後半に限ると、サップソクラー湖北岸のメラカ林を切り開いて、あるいはルアン湖からの水路沿いや浜堤列平野の湖岸側のかつての水田地帯に、エビの養殖池が急速に拡大している。これらは、養殖開始から約 5 年ほどで生産性が落ちるために、10 年もすれば放棄されるところも出現する。さらに、養殖池に隣接する水田では、池から漏れてくる塩分が混じった地下水の影響で稲の生育が阻害され、耕作放棄あるいはエビ池化が進行する。このような状況のもと、養殖エビをめぐる現在のような経済的状況が変化しない限り、エビの養殖は、汽水が得られるサップソクラー湖の湖岸地域の湖岸線から約 2 km の範囲まで連続的に広がっていく可能性がある。そのようなエビの養殖池を囲う堤防は、そのほとんどが泥を積んだだけの簡単なものであるた

めに、将来の海面上昇による堤防の浸食や、池からの排水不良の問題の発生など、エビの養殖をめぐる問題は重要である。

④このほか、本文中では述べなかったが、サップソクラー湖中の南東部に位置するヨー島では、現在その南岸と北東岸に2本の橋が架かり、島の東岸の道路沿いの湖岸には洒落たレストランが並んでいる。また島の北部西岸にも、湖中に海鮮レストランが多数立地し、観光の中心となっている。これらの施設は、将来の海面上昇に対してまったく無防備で、すでに一部のレストランの敷地では湖岸の浸食が発生している。

おわりに

本稿は、タイ国南部マレー半島東岸のタイランド湾に面するソクラー湖地域を対象とし、地球温暖化による海面上昇の影響予測および評価を行った。海跡湖における海面上昇の影響予測評価については、IPCC CZMS (1992) による一般的な海面上昇の脆弱性評価の手法をもとに、筆者が7つのステップからなる手順を整理しすでに示した(平井, 1999; Hirai, Sato and Charlchai, 1999)。本稿では、サップソクラー湖を事例として、この7ステップのうち主としてステップ④「自然および社会・経済システムの特徴による湖岸・海岸地帯の区分と類型化」と、ステップ⑤「類型化された各タイプごとに Developmet Factors の抽出と海面上昇の影響予測評価」、およびステップ⑥「対象地域全体の海面上昇の影響予測評価」を論じた。

すなわちステップ④として、サップソクラー湖の湖岸が、浜堤列平野、砂嘴、三角州性低地の3つに分けられ、土地利用および水利用の特徴から、さらに三角州性低地が、自然堤防・後背湿地/水田、自然堤防/近郊野菜、新デルタ/住宅・工場、メラルカ林/エビ養殖と、メラルカ林/公共施設の5つの地区に細分された。このように類型化された湖岸の各タイプは、ソクラー湖全体の湖岸地帯を類型化する際に大変有効である。

ステップ⑤として、各地区での Developmet Factors を抽出・認定した上で、0.5 m, 1 m の海面上昇に対し、それぞれ具体的にどのような影響が予測されるかを述べた。そして、ステップ⑥として、サップソクラー湖全体での影響予測と評価を行った結果、①サップソクラー湖西岸～南岸の三角州性低地での浸水水没の範囲が広く、今後ハジャイ市やソク

ラー市の都市化にともなう何らかの対応策、そして②海岸浸食が深刻化すると予測される浜堤列平野や砂嘴では、堤防や護岸などのハードな土木工事の必要性があること、また、湖口の幅が広がることで、③湖内の塩分濃度の上昇や、湖岸の地下水への影響についての対応や、④湖岸で広がっているエビの養殖池の問題への対応が、強く求められることを指摘した。

謝辞

タイ国での現地調査に際しては、ハジャイ市にあるプリンス オブ ソクラー大学(Prince of Songkhla University; PSU) の、自然資源学部地球科学教室土地改良研究室(Laboratory of Land Reclamation, Department of Earth Science, Faculty of Natural Resources) の Dr. Charlchai 氏ほかの研究室のスタッフ、ならびに駒沢大学文学部地理学教室の佐藤哲夫氏に多大なる協力をいただいた。あらためて、ここに感謝いたします。なお本研究は、1997年度から3年計画で実施された環境庁の地球環境研究総合推進費による「海面上昇の影響の総合評価に関する研究」(研究代表:建設省国土地理院)の成果の一部である。ここに関係各位に、深く感謝いたします。

なお本研究のあらまは、1999年11月30日-12月4日タイのチャム(Cha-Am)で開かれた Thai-Japanese Geological Meeting “The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise”において発表・討論した。

文 献

- 平井幸弘(1995 a): 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, 15 (2), 1-16.
- 平井幸弘(1995 b): 『湖の環境学』古今書院, 186 p.
- 平井幸弘(1998): 湖沼の開発利用と環境保全。日本地形学連合編『地形工学セミナー2・水辺環境の保全と地形学』古今書院, 86-111.
- 平井幸弘(1999): タイ国南部ソクラー湖湖岸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, 19 (2), 1-15.
- 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, 12, 33-45.
- IPCC 編・環境庁地球環境部監修(1996): 『IPCC 地

- 球温暖化第二次レポート』中央法規出版, 128 p.
- IPCC CZMS (1992) : Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea, 35 p. (環境庁国立環境研究所地球環境研究センター, 1996 による)
- 環境庁国立環境研究所地球環境研究センター (1996) : “Data Book of SEA-LEVEL RISE”, 88 p.
- NESDB (National Economic and Social Development Board, and National Environment Board) (1985) : Songkhla Lake basin planning study, Final Report, vol. 2, Annex A, Physical Natural and Human Resources of the Basin.
- 徳岡隆夫 (1998) : 大根島の淡水レンズ. 「島根の自然」編集委員会編『島根の自然をたずねて』築地書館, 64-65.
- Prinya Nutalaya (1993) : Coastal erosion in the Gulf of Thailand. International Congress on Geomorphological Hazards in Asian-Pacific Region, Sep. 1993. Waseda Univ., Tokyo, 40-41.
- 末廣 昭 (1993) : 『タイ開発と民主主義』岩波書店, 224 p.