

メコンデルタの環境問題と持続的発展

石松 惇（JICA「気候変動下のメコンデルタ地域における持続可能な発展に向けた産官学連携強化プロジェクト」，アカデミックアドバイザー）

1. メコンデルタについて

メコンデルタは、世界有数の大河川であるメコン河がカンボジア国境からベトナムに入って南シナ海に注ぐまでの土地で、40,577 km²と九州の約 1.1 倍の面積をもっている。メコンデルタの地理的特徴はその平坦さにあり、メコン河河口から隣国のカンボジア国境までは直線距離で約 200 km あるものの、平均標高は一部の地域を除いて 0.7~1.2 m しかない（JICA, 2013；2.1 気候変動の項参照）。メコンデルタは地史的には新しく、海面が現在より約 5 m 高かった 5000~6000 年前には、海岸線は現在のカンボジア国境付近にあり、その後の急速な海面の低下とメコン河からの大量の土砂の堆積によって形成されたことがわかっている（Nguyen et al., 2000）。したがって、メコンデルタに生息する生物は、過去 5000~6000 年の間に現在の分布域に定着し、新しい生態系を形成したと考えられる。

2 メコンデルタの重要性

メコンデルタは様々な意味で非常に興味深く、また重要な土地である。下記では食料生産および生物多様性の面からのメコンデルタの重要性を概説する。

2.1 食料生産

メコンデルタは、農業および水産養殖業生産の面におけるホットスポットである。表 1 はメコンデルタがベトナムの農業生産に占める重要性を示しているが、メコンデルタはベトナム全体のコメの 50%以上、野菜類の 30%、そして果物類の 40%以上を生産している。畜産業生産に占める割合はやや低いものの、それでもウシ類の 15%、家禽の 17%がここで生産されている。ベトナムはフィリピン、コートジボアール、中国などにコメを輸出しており、2021 年の農産品による歳入は 32 億 7000 万米ドルに上る（Vietnam News Agency; <https://en.vietnamplus.vn/rice-output-up-11-million-tonnes-in-2021/220156.vnp>, アクセス 2022 年 7 月 17 日）。ベトナムにおけるのコメ輸出の 90%以上をメコンデルタが担っている（Anh et al., 2020）。

表2は2021年におけるベトナムの水産養殖生産高を示す。この表でわかるように、メコンデルタは魚類の約70%、エビ類の80%以上を生産している。魚類に関

表 1 メコンデルタの農業生産における重要性

地域	コメ ¹	野菜 ²	果物 ³	ウシ類 ¹	家禽 ¹
	(2019)	(2009)	(2014)	(2019)	(2019)
	1000 トン			1000 頭	
ベトナム	43,495	11,885	7,000	6,060	481,079
メコンデルタ	24,310	3,564	3,080	894	82,505
%メコンデルタ	56	30	44	15	17

データ: ¹ General Statistics Office (<https://www.gso.gov.vn/en/agriculture-forestry-and-fishery/>, アクセス 2022 年 7 月 17 日), ² Ly et al. (2013), ³ Uiterwijk and Linh (2017).

としては、パンガシウス (*Pangasianodon hypophthalmus*) が最重要種であり、米国、EU諸国、日本、中国、南米諸国など140か国以上に輸出されている。日本への輸入量は2010年ごろから急増したのち、2019年以降横ばいとなっているが、冷凍フィレーなどとして主にイオンなどで販売されている（みなと新聞；<https://www.minato-yamaguchi.co.jp/minato/e-minato/articles/109553>, アクセス2022年8月8日）。パンガシウス輸出によるベトナムの2021年の歳入は16億1000万米ドルに上る（Vietnam News Agency; <https://en.vietnamplus.vn/pangasius-exports-exceed-expectations/221963.vnp>, アクセス2022年7月17日）。経済的にはエビ類がより重要な位置を占めている。ベトナムでは、ウシエビ（別名ブラックタイガー、*Panaeus monodon*）とバナメイエビ (*Litopenaeus vanamei*) が主に養殖されており、世界70か国以上に輸出されている。エビ類輸出による2021年の歳入は、38億米ドルに達する（Vietnam News Agency; <https://en.vietnamplus.vn/shrimp-remains-vietnams>, アクセス2022年7月17日）。我が国へのベトナムからのエビ類の輸入は、2021年には346億円（≈2.7億米ドル）にのぼり、インドに次いで第2位となっている（水産庁; https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/r03_h/trend/1/t1_1_4.html, アクセス2022年8月8日）。

表 2 メコンデルタの水産養殖生産における重要性（トン，2019年）

地域	魚類	エビ類	その他*	全体
ベトナム	3,138,944	899,887	362,435	4,492,526
メコンデルタ	2,242,436	750,228	157,275	3,150,455
%メコンデルタ	71	83	43	70

データ: General Statistics Office (<https://www.gso.gov.vn/en/agriculture-forestry-and-fishery/>, アクセス 2022 年 7 月 17 日), *全体 - (魚類+エビ類) として計算.

これらのデータは、メコンデルタがベトナムのみならず世界各国にとって、重要な食料生産地であることを示している。

2.2 生物多様性

メコンデルタは、生物多様性の面からもホットスポットと言える。ベトナム科学技術アカデミーの熱帯生物学研究所によると、1997年から2009年までの13年間に、メコンデルタから1068種の新種生物が報告された（Vietnam National Administration of Tourism; <https://moitruongdulich.vn/en/index.php/item/721>, アクセス2022年7月17日）。この種数は、カンボジア、ラオス、タイ、ミャンマーを含むメコン流域で1997年から2020年の間に発見された新種数（3007種, WWF; <https://www.worldwildlife.org/stories/scientists-discover-224-new-species-in-the-greater-mekong>, アクセス2022年7月17日）の36%となる。一例を挙げると、カンボジアとベトナム国境に近い石灰岩丘陵地からは、22種の陸生巻貝類が発見されている（Vermeulen et al., 2019）。したがって、メコンデルタには未発見の新種が数多く生息していると考えられる。

メコンデルタで特に多様性に富むのは魚類である。メコン河には淡水魚が850種、汽水および沿岸性魚類を含むと1100種が生息すると推定されている（Hortle, 2009）。メコン河の淡水魚種数は、世界で最も多様な淡水魚類相で知られているアマゾン河の種数（1200種, Baran et al., 2012）の約70%に相当する。メコン河に生息する魚類の特殊性の一つに、鰓を使った水呼吸に加えて空気を呼吸する魚類が多いことが挙げられる。これらの空気呼吸魚は進化生物学的に極めて重要な生物である。近年の研究によって、古生代デボン紀の3億6000年～3億9000年前に起こった魚類から両生類への進化は、巨大なデルタがその舞台であった可能性が示されている（Ahlberg, 2019; Mai et al., 2019）。メコンデルタは、鳥類の多様性も高く、絶滅危惧および準絶滅危惧種に指定されている20種が生息している。両生類、爬虫類および無脊椎動物の多様性については、ほとんど検討されていない（Campbell, 2012）。メコンデルタの植物については、Rundel (2009)が知見を取りまとめ、メコンデルタの原植生は人間活動によって著しく損なわれていると指摘している。

3 メコンデルタの環境問題

上記のように、メコンデルタは食料生産および生物多様性の宝庫として非常に重要な位置を占めているが、その価値と機能を損なう恐れがある様々な環境問題を抱えていることも事実である。以下には、メコンデルタの価値を保全し、回復させるために取り組むべき主な環境問題を概説する。

3.1 気候変動

メコンデルタは、気候変動によって最も深刻な影響を受ける世界の 3 大デルタの一つである (Ericson et al., 2006) . この脆弱性には、メコンデルタの特殊な地形が深く関わっている。メコンデルタは極端に平坦な土地であり、海拔 2 m 以下の面積は 20,900 km² に及ぶ。この値は、世界最長の河川であるナイル河デルタの 9,440 km²、ミシシッピーデルタの 7,140 km²、そしてアマゾンデルタの 1,960 km² をはるかに凌駕している (Syvitski et al., 2009) .

この地形学的特性のゆえに、最も懸念される気候変動による脅威は、海水侵入である。ベトナム天然資源環境省 (Ministry of Natural Resources and Environment, MONRE) が温暖化の最悪シナリオ (RCP8.5) に基づいて行った予測によると、ベトナム沿岸の平均海面は 2050 年に 17-35 cm、今世紀末には 52-105 cm 上昇する (表 3) . 図 1 は、海面が 100 cm 上昇した際に水没する危険がある地域 (赤色) を示す。この条件の下では、メコンデルタ全体の約 40% が海面下に水没する。西部の諸省が特に被害を強く受け、ハウザン省の 81%、キエンザン省の 77%、カマウ省の 58% が海面に覆われる。海面上昇 70 cm の予測で計算すると、ハウザン省の 21%、キエンザン省の 36%、カマウ省の 22% が水没するとの結果が得られる。

表 3 メコンデルタにおける将来の気候変動予測

	2050	2100
気温 (°C)	+ 1.8 – 1.9	+ 3.2 – 3.5
海面上昇 (cm)	+ 17 – 35	+ 52 – 105
年間降水量 (%)	+ 8.6 – 18.3	+ 9.3 – 23.7

データ: MONRE 2016, RCP8.5 シナリオ (IPCC 第 5 次評価報告書) に基づく予測。

海面上昇だけがメコンデルタの塩分上昇を引き起こす原因ではない。メコンデルタでは 5 月から 11 月までが乾季にあたるが、乾季にはメコン河の流量が低下し、沿岸の海面高が上昇することによって、メコンデルタへの海水侵入の程度が高まる。さらに、最近の研究では、上流におけるダム建設が原因の土壌流下量の減少が、河川底浚渫、海面上昇や地盤沈下などよりも、はるかに強い塩水侵入の原因であることが指摘されている (Eslami et al., 2021; Loc et al., 2021) . 2015 年から 2016 年にかけてのエルニーニョ現象は、ベトナムにおいて過去 90 年間で最も深刻な干ばつを引き起こしたが、この時メコンデルタでは顕著な海水侵入が記録された。2015 年には、ティエン河 (メコン河の主要な支流の一つ) のカンボジア国境から 10 km 下流の地点に位置する Tân Châu 観測所 (アンザン省)

耐性とほぼ同等のレベルであることを示している。ウシエビ（ブラックタイガー）とバナメイエビは至適塩分が 20~25 ppt であること（Li et al., 2017; Rahi et al., 2021）から、海水侵入はエビ養殖には大きな脅威とならないと考えられる。

気候変動は温暖化を引き起こし、降雨の季節パターンと降水量にも影響を与えることから、メコンデルタにおける生態系の構造や機能とサービスに強い影響を与えることが予測される。気候変動予測においては、高緯度地域でより高温化が進むことが予測されているものの（IPCC, 2021）、熱帯の陸生および水生変温動物は高緯度地域の種よりも温度感受性が高く（Tewksbury et al., 2008）、それゆえ温暖化によって深刻な影響を受ける可能性がある。例えば、サンゴの白化が水温の 1~2°Cの上昇によって引き起こされることは良く知られている事実である（Baird et al., 2009）。

パンガシウスの生理機能と成長に与える温度の影響については、Do et al. (2021) によって報告されている。またウシエビの初期発生時の成長、生残および生理機能に対する温度の影響については Do et al. (2018) によって、バナメイ

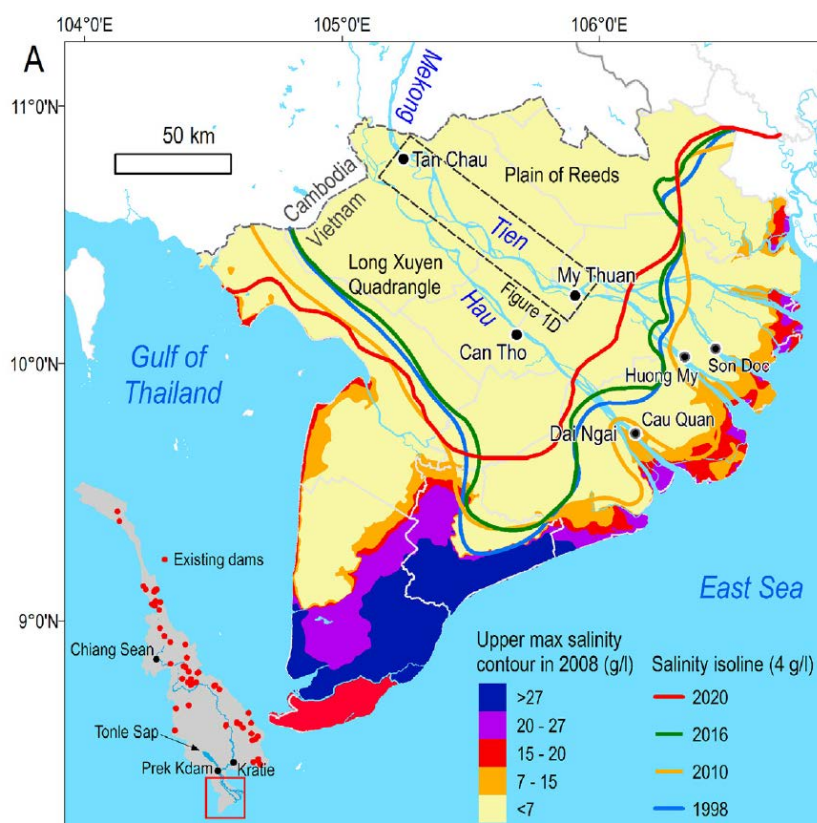


図 2 干ばつ年（1998, 2010, 2016, 2020 年）における塩分侵入(Loc et al., 2021). 平常年（2008 年）における塩分分布も併せて示した。許可を得て複製。

エビに対する二酸化炭素の影響については Do et al. (2019) によって、報告されている。海洋酸性化（二酸化炭素濃度上昇による海水 pH の低下, Doney, 2020) の生物影響については大量の知見が既に蓄積されているものの、現状ではベトナムに生息する種についてはほとんど研究がなされていない。

2011 年以降メコンデルタにおいて大規模な洪水は起こっていないものの、気候変動と上流域のダム建設などの結果、予期せぬ洪水が再び起こる可能性も否定できない。

3.2 生態系破壊（マングローブを例として）

図 3 は、カマウ半島中央部の衛星写真の拡大である。この写真にある多数の長方形は、そのほとんどがエビ養殖池である。カマウ省のエビ養殖は、大規模で低密度な粗放的養殖であるという特徴をもつ (Nair, 2015) 。エビは、他省（バクリュー省やソクチャン省）で行われている高密度養殖法と比べてより自然に近い環境で成長し、その意味で環境に優しい養殖方法と言える。一方、カマウ省における粗放的養殖はより大きな養殖池面積を必要とすることから、マングローブの大規模な破壊に結びついている。北部ベトナムにおいても、水産養殖はマングローブに対する主要な脅威と位置付けられている (Orchard et al., 2015) 。

図 4 は、カマウ省南部における 1979 年から 2013 年間のマングローブおよび養殖池の分布を示している（マングローブはオレンジ色、マングローブと養殖池の混在地域は緑色、養殖専用地域は水色）。研究対象地域におけるマングローブ林の面積は 1979 年の 112,035 ha から 2013 年には 43,810 ha と、34 年間に 61% 減少したことが明らかになった。マングローブは、浸食や嵐、高波などから沿岸地形、インフラおよび地域社会を保護する役割、エビ類、カニ類や魚類などの多くの沿岸生物の生息場所としての役割、木材や燃料および塩を供給する役割、さらに地球の炭素循環における貯蔵場所としても重要な役割を担っている (Veettil et al., 2019) 。ベトナムのマングローブは 800 万人の人々を洪水から守っており、マングローブによって保護されている資産の経済価値は世界で 5 番目と推定されている (Losada et al., 2018) 。ベトナムは



図 3 カマウ半島中心部 (Google Earth).

1975 年（ベトナム戦争終結年）以来，マングローブの回復に大規模に取り組んできた（Veettil et al., 2019）．それでもなお，マングローブの保全と回復はベトナムにとって喫緊の課題であり，さらなる努力が求められている．

ベトナム農業農村開発省（Ministry of Agriculture and Rural Development）は，マングローブ減少の主要因として，次の 5 点を挙げている．（1）水産養殖池への転換，（2）嵐，高波などの自然災害，（3）木材や燃料などを得るための過剰伐採，（4）農業生産や廃液などの化学物質による環境汚染，（5）マングローブ地域の保護と持続的発展へ地域社会を関与させるための監督行政の脆弱性（Hawkins et al., 2010）．

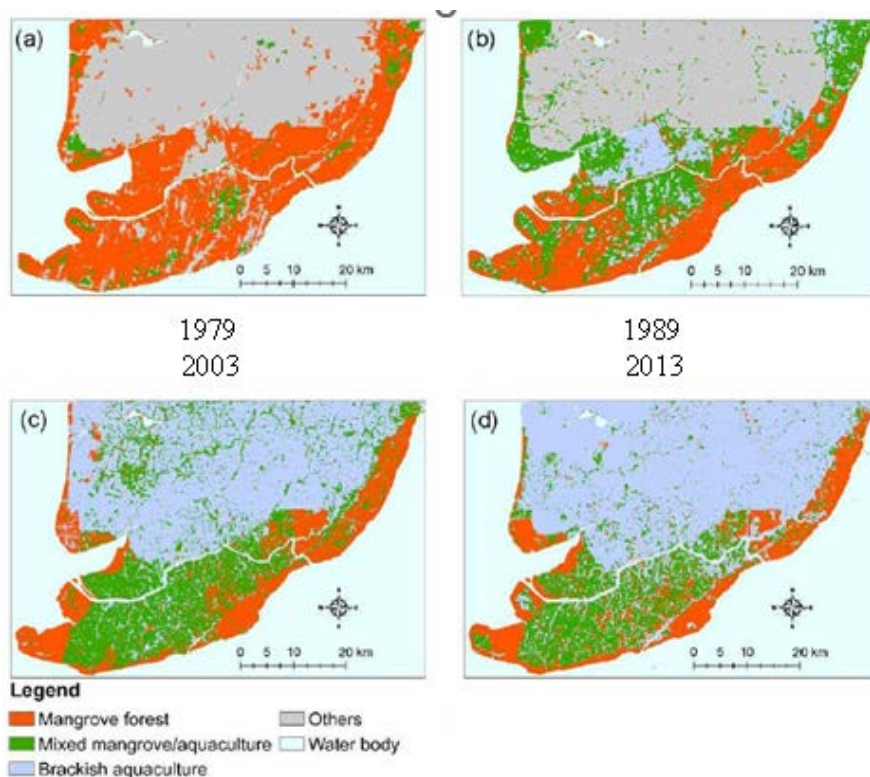


図 4 カマウ半島南部における 1979～2013 年のマングローブ林の変遷. Son et al. (2015) より複製（オープンアクセスジャーナル）．

3.3 プラスチックごみ

プラスチックごみ問題は，新たな環境および健康に対する脅威として，地球規模での懸念が急速に高まっている．これを裏付けるように，過去 10 年間にプラスチックごみ問題を扱った論文数は指数関数的に増加している（Li et al., 2021）．Lebreton et al. (2017) によると，メコン河は年間に 22,800 トンのプラスチックを

海洋に排出している（推定範囲 18,800～37,600 トン）。この量は、ベトナムで不適切に処理されているプラスチック量（1,830,000 トン）の 1.0～2.0%にあたり、ベトナムが海洋に排出しているプラスチック量全体（280,000～730,000 トン）の 3～13%に相当する（Jambeck et al., 2015）。Salhofer et al. (2021) は、ベトナムにおけるプラスチックのリサイクルの状況について検討し、健康被害と環境劣化を緩和させるためにはリサイクル過程における技術の改善が緊急に必要であると強調している。

マングローブ林には海洋ごみが集積する。とくにマングローブの呼吸根（呼吸のために泥の表面から空気中に伸びた根）は大型のプラスチックごみを捕捉しやすい（Martin et al., 2019）。大型のプラスチックごみは風化やその他の物理化学的および生物学的過程によって劣化し、マイクロプラスチックと呼ばれる 5 mm 以下のプラスチック細片となる。マイクロプラスチックは水中を沈降し、底質中に蓄積する（Deng et al., 2020）。ハウ河河口近くのマングローブ林におけるプラスチックごみの予備的調査によると、沿岸ごみの 70%はプラスチック袋とその断片であった（図 5、長崎大学宇都宮らによる未発表データ）。この調査地におけるプラスチックごみの重量は、 300 kg km^{-2} に達しており、直射日光によって細片化し、底質中に埋没しているものと考えられた。

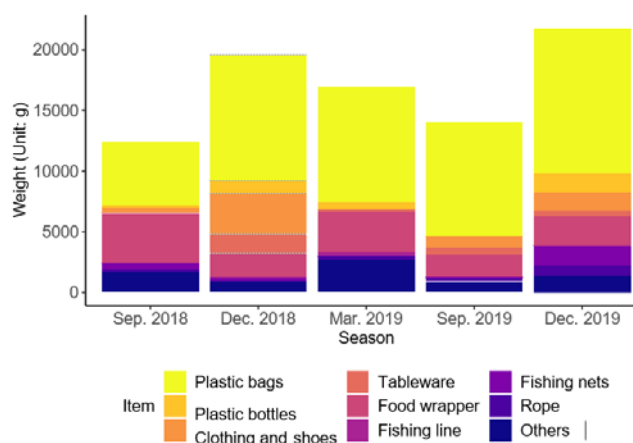


図 5 ソクチャン省のマングローブ林におけるプラスチックゴミ調査結果（長崎大学宇都宮らによる未発表データ）。

マイクロプラスチックは二枚貝や巻貝そしてカニ類などの海洋底生生物や魚類によって摂取される。マイクロプラスチックは、その大きな表面積と疎水性によって重金属やその他の微量汚染物質化学物質を吸着しやすく、そのためこれらの化学物質の運搬体として機能する（Deng et al., 2020）。

メコンデルタの東海岸は、エビ養殖および漁獲漁業の重要な産地である。食品安全性の観点から、これらの水産物のプラスチック含量について調査することが必要である。

3.4 水質汚染

メコンデルタは、農業、水産養殖業、家庭および工場からの廃液と廃棄物の非常に大きな負荷を受けており、特に土壌と水質の汚染が著しい。Wilbers et al. (2014) は、メコンデルタの水質汚染の主原因として、(1) 酸性土壌からの有害金属の溶出、(2) 水産養殖業による給餌が引き起こす化学的酸素要求量 (COD) や生物化学的酸素要求量 (BOD) や栄養塩濃度の増大、および (3) 都市化、を挙げている。都市化が水質与える影響については、米国や中国などの諸外国においても報告されているが、メコンデルタに関しては情報は乏しい。Wilbers et al. (2014) は、ベトナムの飲料水を調査し、カントー市/ハウザン省のおよびソクチャン省の二次水路 (周辺の土地や最末端の一次水路からの水を本川に送る水路) で採取したサンプルを分析した結果、飲用水基準に定められた値を越えるヒ素を 11% (カントー市/ハウザン省) および 14% (ソクチャン省) の地点で検出した。水銀については 67% および 72%, マンガンは 49% および 72%, アルミニウムは 99% および 96%, 鉄はカントー市/ハウザン省, ソクチャン省のいずれでも 100% の地点で検出したと報告している。これらのうち、11~14% および 96~100% の地点からのサンプルはベトナムの生活排水基準 (domestic water quality guidelines) で定められたヒ素および鉄の許容濃度を越えていた。大腸菌 (*Escherichia coli*) および他の大腸菌群の含有量は、ほぼ全てのサンプルで両基準での許容値をはるかに越える高値を示した。これは、生活污水や畜産業からの排水が未処理のまま排出されているためと考えられる。河川本流の水質は、二次水路の水質よりも全体としては良好であったが、水銀、アルミニウム、鉄、大腸菌群および濁度に関しては、飲用水基準および生活排水基準の許容値よりも高い値を示した。2017 年には世界銀行グループが農業および水産養殖業によるベトナムの水質汚染に関するレポートを発表している (Cassou et al. 2017; Dinh 2017; Nguyen CV 2017; Nguyen TH 2017)。

3.5 食品安全 (パンガシウスを例として)

メコンデルタが食料生産に重要な地位を占めていることに疑問はないが、しかしメコンデルタで生産され諸外国に輸出される食品は、その評価と経済的価値を損なう可能性があるいくつかの課題に直面していることも事実である。とりわけ、ベトナムから輸出される水産養殖製品の安全性は、最も深刻に懸念される問題の一つである。ベトナムは水産養殖業において、抗生物質を最も大量に使用している国の一つであり (Lulijwa et al., 2020), パンガシウスやエビ類などの輸出品は米国, EU, 日本などの輸入国からたびたび輸入禁止の措置を受けてきた (Nguyen et al., 2017)。最近の研究は、ヨーロッパ市場へ輸出されるパンガシウスの消費は健康に悪影響を及ぼさないとのデータを示した (Murk et al., 2018) が、しかし抗生物質を含む禁止化学物質はいかなる濃度でも食品中に残留する

ことが認められていない。また、先進国に輸出されるパンガシウスフィレーの品質は厳密にモニタリングされているが、ベトナム国内で消費されるパンガシウスなどの養殖産品に対しては同等のモニタリングは行われておらず、ベトナム国民への健康影響が懸念される。

様々な抗生物質が養殖現場環境、底質および養殖生物体内から検出されており、ヒトや野生動物や環境の健全性に対して悪影響を与える可能性が指摘されている (Binh et al., 2018; Lulijiwa et al., 2020)。メコンデルタの食料生産を持続的に発展させるためには、抗生物質ほかについて包括的かつ慎重なモニタリングが必須である。

4 日本の経験から学ぶ (北九州市を例として)

九州北部に位置する北九州市は、かつて重工業による環境汚染が深刻な状況であった。1960年代には、北九州市の大気汚染は日本最悪のレベルにあり、平均降下煤塵量は一月当たり 80 トン km^2 に上った (最高値は 108 トン $\text{km}^2 \text{ month}^{-1}$, 図 6A には 1960 年代初頭のこの値は含まれていない)。1960 年には、北九州市はスモッグ警報を日本で初めて発令した。また、北九州市の中心に位置する洞海湾は工場および家庭排水によって、著しく汚染されていた。1969 年の調査では、溶存酸素濃度は 0.6 mg L^{-1} , 化学的酸素要求量 (COD) は 48.4 mg L^{-1} を記録した (図 6B, 48.4 mg L^{-1} を記録した採水点はこの図には含まれていない)。洞海湾は「死の海」とよばれ、大腸菌さえも生きられないと言われた。

これらの深刻な環境汚染に対して、初めて声をあげたのは、子供たちの健康を気遣った母親たちであった。住民運動と報道は、市民の汚染 (公害) に対する関心を盛り上げ、行政と産業界による汚染対策の強化を実現させた。

産業界は、生産工程の見直しと徹底した管理、排水処理および汚染除去設備の配置、原材料の評価と選択、工場緑化などを積極的に実施した。これらの技術開発は環境影響を低減させたばかりでなく、生産効率を向上させる経済効果をももたらした。一方北九州市は、公害監視センターの設置、公害防止対策のための財政措置や規制制度の整備、企業との「公害防止協定」の締結、下水道や緑地の整備、廃棄物焼却工場や処分場の整備、被害者の救済など、様々な環境対策を実施した。また、洞海湾では水銀などの有害物質を含むヘドロの大規模な浚渫を行った。

これらの環境対策と産業界および行政の協力によって、北九州市の環境は劇的に改善した。大気汚染 (図 6A) と水質汚染 (図 6B) がいかに急激に改善していったかは、データが示す通りである。北九州市は 1987 年には環境庁 (当時) によって「星空の街」に選定された。現在では、洞海湾には 100 種を超える魚介

類が生息しており、多くの渡り鳥の越冬地として知られるまでになった（この項は、北九州市の公害克服の取り組みを紹介したサイト https://www.city.kitakyushu.lg.jp/kurashi/menu01_0448.html を石松が要約した）。

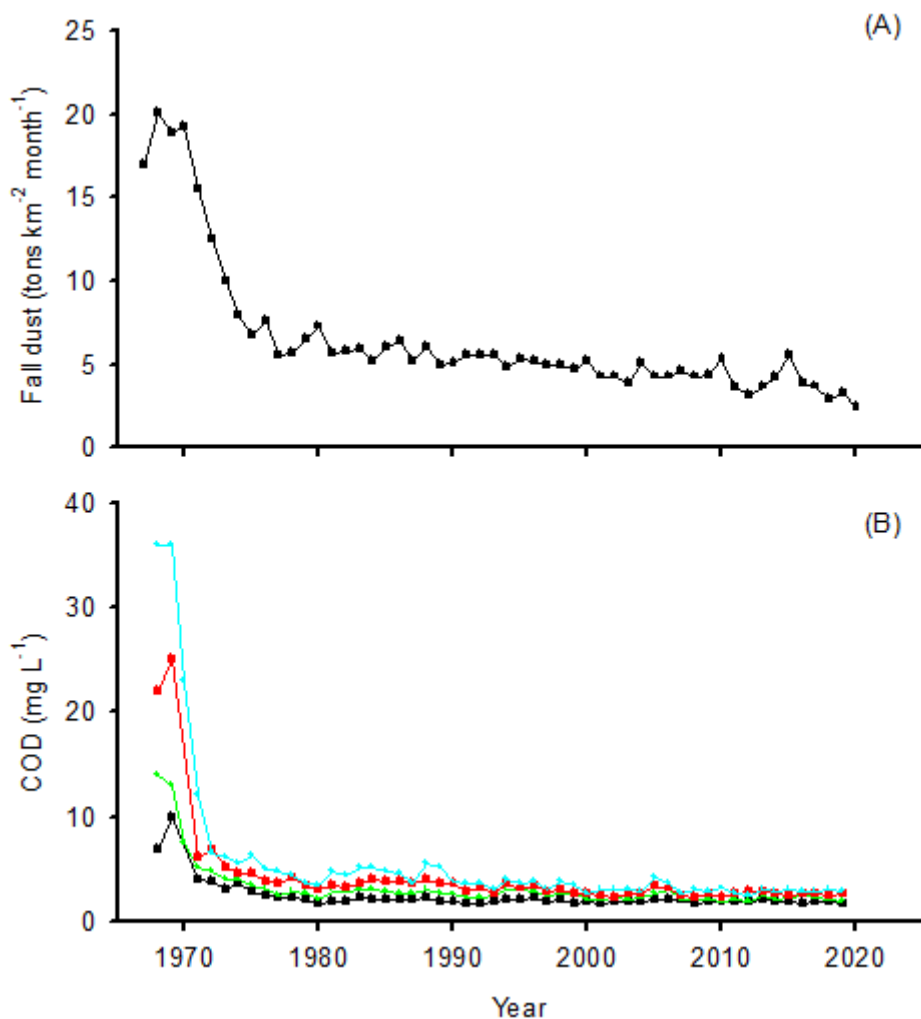


図 6 北九州市における降下煤塵量 (A) および洞海湾の化学的酸素要求量 (COD) の経年変動 (B) .B では 4 採水地点からのデータを異なる色で示した. 本図は北九州市から提供されたオリジナルデータに基づき, 石松が作図した.

まとめ

本稿で概説したように、メコンデルタは様々な環境問題に直面しており、適切に対処しない限り、メコンデルタの食料生産基地としての重要な役割や生物多様性宝庫としての貴重性が急速に損なわれることが強く懸念される。生物多様性は遺伝子資源の基盤として極めて重要であり、食料生産維持のための気候変動適応策を講じる

上で不可欠の要素でもある。また、生物多様性の維持には健全な環境が不可欠である。ベトナム政府はメコンデルタの環境と持続的発展を目的とした多くの施策を講じているが、さらなる国際協力のもとで科学的洞察に基づいた対策を進めていくことが重要である。

引用文献

- Ahlberg PE (2019) Follow the footprints and mind the gaps: a new look at the origin of tetrapods. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 109:115-137
- Anh DT, Tinh TV, Vang NN (2020) The domestic rice value chain in the Mekong Delta. In: Cramb R (ed) *White Gold: The Commercialization of Rice Farming in the Lower Mekong Delta*. Palgrave Macmillan, pp. 375-395
- Baird AH, Bhagooli R, Ralph PJ, Takahashi S (2009) Coral bleaching: the role of the host. *Trends in Ecology & Evolution* 24:16-20
- Baran E, Chum N, Fukushima M, Hand T, Hortle KG, Jutagate T, Kang B (2012) Fish biodiversity research in the Mekong Basin. In: Nakano S (ed) *The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region*. Springer, pp. 149-164
- Binh VN, Dang N, Anh NTK, Ky LX, Thai PK (2018) Antibiotics in the aquatic environment of Vietnam: Sources, concentrations, risk and control strategy. *Chemosphere* 197:438-450
- Campbell IC (2012) Biodiversity of the Mekong Delta. In Renaud, FG, Kuenzer C (eds) *The Mekong Delta System*. Springer, pp. 293-313
- Cassou E, Tran DN, Nguyen TH, Dinh TX, Nguyen CV, Cao BT, Jaffee S, Ru J (2017) *An Overview of Agricultural Pollution in Vietnam: Summary Report*. World Bank, Washington DC. 40 pp
- Deng H, He J, Feng D, Zhao Y, Sun W, Yu H, Ge C (2020) Microplastics pollution in mangrove ecosystems: A critical review of current knowledge and future directions. *Science of The Total Environment* 142041
- Dinh TX (2017) *An Overview of Agricultural Pollution in Vietnam: The Livestock Sector*. World Bank, Washington DC. 56 pp
- Do T, Chau H, Nguyen T, Le T, Ishimatsu A, Nguyen T (2021) Effects of carbon dioxide (CO₂) at different temperatures on physiological parameters and growth in striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) juveniles. *Aquaculture* 534:736279
- Đỗ V, Đỗ T, Châu T, Ishimatsu A, Nguyễn T (2018) Ảnh hưởng của nhiệt độ cao lên tăng trưởng, tỉ lệ sống, glucose và enzyme tiêu hóa của tôm sú (*Penaeus monodon*)

- Fabricius, 1798) giai đoạn Postlarvae 15 đến Juvenile. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ 54:99-107
- Đỗ V, Đỗ T, Châu T, Trần N, Ishimatsu A, Nguyễn T (2019) Ảnh hưởng của CO₂ lên tỉ lệ sống, tăng trưởng, enzyme tiêu hóa và glucose của tôm thẻ chân trắng (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) giai đoạn tôm bột đến tôm giống. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ 55:58-66
- Doney SC, Busch DS, Cooley SR, Kroeker KJ (2020) The impacts of ocean acidification on marine ecosystems and reliant human communities. *Annual Review of Environment and Resources* 45:11.1-11.30
- Ericson JP, Vörösmarty CJ, Dingman SL, Ward LG, Meybeck M (2006) Effective sea-level rise and deltas: causes of change and human dimension implications. *Global and Planetary Change* 50:63-82
- Eslami S, Hoekstra P, Minderhoud PS, Trung NN, Hoch JM, Sutanudjaja EH, Dung DD, Tho TQ, Voepel HE, Woillez M-N (2021) Projections of salt intrusion in a mega-delta under climatic and anthropogenic stressors. *Communications Earth & Environment* 2:1-11
- FAO (2016) "El Niño" event in Viet Nam – agriculture, food security and livelihood needs assessment in response to drought and salt water intrusion. 63 pp.
- Hawkins S, Phuc XT, Pham XP, Pham TT, Nguyen DT, Chu VC, Brown S, Dart P, Robertson S, Nguyen VL, McNally R (2010) Roots in the water: Legal framework for mangrove PES in Vietnam. Katoomba Group's Legal Initiative Country Study Series. *Forest Trends: Washington, DC*. 47 pp.
- Hortle KG (2009) Fishes of the Mekong—How many species are there. *Catch and Culture* 15:4-12
- IPCC (2021) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Pean, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekci, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. 31 pp.
- Jambeck JR, Geyer R, Wilcox C, Siegler TR, Perryman M, Andrady A, Narayan R, Law KL (2015) Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347:768-771
- JICA (2013) ベトナム国メコンデルタ沿岸地域における持続的農業農村開発のための気候変動適応対策プロジェクト最終報告書. 94 pp
- Joint Assessment Team (2020) Vietnam: Drought and saltwater intrusion in the Mekong

- Delta. Joint Assessment Report. 23 pp
- Kantoush S, Van BINH D, Sumi T, Trung LV (2017) Impact of upstream hydropower dams and climate change on hydrodynamics of Vietnamese Mekong Delta. *Journal of Japan Society of Civil Engineering B1 (Hydraulic Engineering)* 73:I_109-I_114
- Lebreton LC, Van Der Zwet J, Damsteeg J-W, Slat B, Andrady A, Reisser J (2017) River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications* 8:15611
- Li E, Wang X, Chen K, Xu C, Qin JG, Chen L (2017) Physiological change and nutritional requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* at low salinity. *Reviews in Aquaculture* 9:57-75
- Li L, Zuo J, Duan X, Wang S, Hu K, Chang R (2021) Impacts and mitigation measures of plastic waste: A critical review. *Environmental Impact Assessment Review* 90:106642
- Loc HH, Van Binh D, Park E, Shrestha S, Dung TD, Son VH, Truc NHT, Mai NP, Seijger C (2021) Intensifying saline water intrusion and drought in the Mekong Delta: From physical evidence to policy outlooks. *Science of the Total Environment* 757:143919
- Losada IJ, Menéndez P, Espejo A, Torres S, Díaz-Simal P, Abad S, Beck MW, Narayan S, Trespalacios D, Pfiegner K, Mucke P, Kirch L (2018) The global value of mangroves for risk reduction. Technical Report. The Nature Conservancy, Berlin. 44 pp
- Lulijwa R, Rupia EJ, Alfaro AC (2020) Antibiotic use in aquaculture, policies and regulation, health and environmental risks: A review of the top 15 major producers. *Reviews in Aquaculture* 12:640-663
- Ly NB, Le NDD, Ngo TPD, Duong TPL, Nguyen NMP, Doan DC (2013) MACBETH project report – Overview and situation of vegetable production in Vietnam - Case study of sweet potato and purple onion. Can Tho University. 31 pp
- Mai HV, Tran XL, Dinh QM, Tran DD, Murata M, Sagara H, Yamada A, Shirai K, Ishimatsu A (2019) Land invasion by the mudskipper, *Periophthalmodon septemradiatus*, in fresh and saline waters of the Mekong River. *Scientific Reports* 9: 14227
- Mandal SC, Kadir S, Hossain A (2020) Effects of salinity on the growth, survival and proximate composition of pangas, *Pangasius hypophthalmus*. *Bangladesh Journal of Zoology* 48:141-149
- Martin C, Almahasheer H, Duarte CM (2019) Mangrove forests as traps for marine litter. *Environmental Pollution* 247:499-508
- MONRE (2016) Climate Change and Sea Level Rise Scenarios for Viet Nam. 170 pp
- Monterey Bay Aquarium Seafood Watch (2021) Pangasius *Pangasianodon*

- hypophthalmus*, Vietnam Production System–Pond. 84 pp
- Murk AJ, Rietjens IMCM, Bush SR (2018) Perceived versus real toxicological safety of pangasius catfish: A review modifying market perspectives. *Reviews in Aquaculture* 10:123-134
- Nair S (2015) Shrimp aquaculture in Ca Mau, Vietnam. In: S. Scherr, K. Mankad, S. Jaffee and C. Negra (ed) *Steps Toward Green: Policy Responses to the Environmental Footprint of Commodity Agriculture in East and Southeast Asia*. EcoAgriculture Partners and the World Bank., Washington DC, pp. 123-142
- Nguyen CV (2017) *An Overview of Agricultural Pollution in Vietnam: The Aquaculture Sector*. World Bank, Washington DC. 48 pp
- Nguyen HTK, Hien PTT, Thu TTN, Lebailly (2017) Vietnam's fisheries and aquaculture development policy: Are exports performance targets sustainable? *Oceanography & Fisheries Open Access Journal* 5:555667
- Nguyen TH (2017) *An Overview of Agricultural Pollution in Vietnam: The Crop Sector*. World Bank, Washington DC. 104 pp
- Nguyen VL, Ta TKO, Tateishi M (2000) Late Holocene depositional environments and coastal evolution of the Mekong River Delta, Southern Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences* 18:427–439
- Orchard SE, Stringer LC, Quinn CH (2015) Impacts of aquaculture on social networks in the mangrove systems of northern Vietnam. *Ocean & Coastal Management* 114:1-10
- Rahi ML, Azad KN, Tabassum M, Irin HH, Hossain KS, Aziz D, Moshtaghi A, Hurwood DA (2021) Effects of salinity on physiological, biochemical and gene expression parameters of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*): Potential for farming in low-salinity environments. *Biology* 10:1220
- Rundel P (2009) *Vegetation in the Mekong Basin*. In: I. Campbell (ed) *The Mekong: Biophysical Environment of an International River Basin*. Academic Press, Amsterdam, pp 143-160
- Salhofer S, Jandric A, Soudachanh S, Le Xuan T, Tran TD (2021) Plastic recycling practices in Vietnam and related hazards for health and the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18:4203
- Schneider P, Asch F (2020) Rice production and food security in Asian Mega deltas—A review on characteristics, vulnerabilities and agricultural adaptation options to cope with climate change. *Journal of Agronomy and Crop Science* 206:491-503
- Son NT, Chen CF, Chang NB, Chen CR, Chang LY, Thanh BX (2015) Mangrove mapping and change detection in Ca Mau Peninsula, Vietnam, using Landsat data

- and object-based image analysis. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 8:503-510
- Syvitski JP, Kettner AJ, Overeem I, Hutton EWH, Hannon MT, Brakenridge GR, Day J, Vörösmarty C, Saito Y, Giosan L, Nicholls RJ (2009) Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience* 2:681-686
- Tewksbury JJ, Huey RB, Deutsch CA (2008) Putting the heat on tropical animals. *Science* 320:1296-1297
- Thorat B, Bagkar T, Raut S (2018) Responses of rice under salinity stress: A review. *International Journal of Chemical Studies* 6:1441-1447
- Trieu TTN, Phong NT (2015) The impact of climate change on salinity intrusion and *Pangasius (Pangasianodon hypophthalmus)* farming in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture International* 23:523-534
- Uiterwijk W, Linh VT (2017) Opportunities for Vietnamese fruits and vegetables exports to Europe. European Trade Policy and Investment Support Project, European Union. 64 pp.
- Veettil BK, Ward RD, Quang NX, Trang NTT, Giang TH (2019) Mangroves of Vietnam: Historical development, current state of research and future threats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 218:212-236
- Vermeulen JJ, Luu HT, Theary K, Anker K (2019) New species of land snails (Mollusca: Gastropoda: Caenogastropoda and Pulmonata) of the Mekong Delta Limestone hills (Cambodia, Vietnam). *Folia Malacologica* 27:7-41
- Vu DT, Yamada T, Ishidaira H (2018) Assessing the impact of sea level rise due to climate change on seawater intrusion in Mekong Delta, Vietnam. *Water Science and Technology* 77:1632-1639