

2018 年度（第 54 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 18-B-3

海岸工学は環境問題をどのように捉えてきたか
～これからの学会間連携等について～

大阪市立大学・教授

重松孝昌

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2018 年 9 月

土木学会では沿岸環境問題をどのように捉えてきたか？

How has the Japan Society of Civil Engineers addressed environmental problems in coastal and estuarine so far?

重松 孝昌

Takaaki SHIGEMATSU

1. はじめに

1879（明治12）年11月に、工部大学（現在の東京大学工学部の前身のひとつ）工学系7学科の第1回卒業生23名が、卒業後の親睦と情報交換を図るために工学会なる組織を創立したり、「たとへ当時為すの工業無くも人を作れば其人工業を見出すべし」という山尾庸三の言は、当時は工業未発達国であった日本の実情を表しているとともに、それまで家伝と徒弟制度によつてのみ為されていた工業教育を、工業に従事しようとする人々に広く開放することの重要性を説いたものである。現在の情報公開に相当するものかもしれない。時勢の進展とともに卒業生が増えて工学会内の各専門分野が大きくなり、専門分野が独立してゆくことになる。1885（明治18）年の日本鉱業会の創立を機に、1886（明治19）年には造家学会（後の日本建築学会）、1888（明治21）年には電気学会、1897（明治30年）には造船協会および機械学会、1898（明治31）年には工学化学会が次々と創立された。土木学会は、1914年（大正3年）に創立された。

土木学会は、土木工学の進歩及び土木事業の発展並びに土木技術者の資質の向上を図り、もって学術文化の進展と社会の発展に供することを目的に掲げている。台風が常襲し、地震が多発する厳しい自然環境下で、人々の暮らしを守り、社会・経済活動を支え、質の高い生活空間を実現するためには土木技術が不可欠である。そのためには、自然災害の発生メカニズムに関する知識を得、防災や減災に資する知恵を生み出し、さらには先見の明をもって将来社会への貢献に尽くすことが必要である。これらの使命を果たすため、2018年の時点では、土木学会には7分野の調査研究部門が設けられており、それぞれの分野に合計29の委員会が設置されている。それぞれの分野・委員会ごとにさまざまな観点で環境に対する理解と貢献が為されていると思われるが、ここでは、沿岸域環境あるいは水環境に多少なりとも携わってきた委員会の成り立ちについて簡単な履歴を紹介したうえで、『沿岸域における環境研究の変遷とこれから』という総合テーマに従って、海岸工学委員会の取り組みについて振り返ることとしたい。

なお、本原稿の作成にあたっては、公益社団法人土木学会のホームページ（<http://www.jsce.or.jp/>）を大いに参考にさせていただいているが、著者の理解不足による内容の齟齬があるかもしれないという懸念を示しておきたい。

I 分野(構造)	II 分野(水理)	III 分野(地盤)	IV 分野(計画)	V 分野(コンクリート)	VI 分野 (建設技術マネジメント)	VII 分野 (環境・エネルギー)
・構造工学委員会 ・鋼構造委員会 ・地震工学委員会 ・応用力学委員会 ・複合構造委員会 ・木材工学委員会	・水工学委員会 ・海岸工学委員会 ・海洋開発委員会	・トンネル工学委員会 ・岩盤力学委員会 ・地盤工学委員会	・土木計画学研究委員会 ・土木史研究委員会 ・景観・デザイン委員会	・コンクリート委員会 ・舗装工学委員会	・土木情報学委員会 ・建設技術研究委員会 ・建設用ロボット委員会 ・建設マネジメント委員会 ・コンサルタント委員会 ・安全問題研究委員会 ・地下空間研究委員会	・環境工学委員会 ・環境システム委員会 ・地球環境委員会 ・原子力土木委員会 ・エネルギー委員会

図-1 土木学会に設置されている調査研究部門および委員会

2. 水環境に関わる土木学会の委員会

2.1 衛生工学委員会

水環境に関わる最も古い調査研究委員会は、1962年12月に設置された衛生工学委員会であろうと思われる。日本都市センターで第2回国際水質汚濁研究会議が開催された1964年頃を境に、環境問題への取り組みが顕在化し、1970年には環境問題への対応方法が議論されるなど、衛生工学的観点から環境問題への積極的な取り組みが為されてきた。この衛生工学委員会から1987年に環境システム委員会が分離・設置され、さらに1991年1月に地球環境委員会が分離設置されている。衛生工学委員会そのものも1994年に環境工学委員会と改名している。

1983年から1992年には衛生工学研究論文集を発行し、多くの論文を公表した。

2.2 環境工学委員会

前述のように、1994年に衛生工学委員会から名称を改めた環境工学委員会は、環境を保全する工学として環境工学を捉え、学問としての体系化を図るとともに、環境安全を保障する社会を技術面から実現させるところに重点をおいた研究、調査及びこれらの推進を図ることを目的としてしている。本委員会の発足前の1993年から、それまで発行した衛生工学研究論文集を環境工学研究論文集と改めて、研究成果の公表を続けてきた。2015年以降は、土木学会論文集G（環境）として論文を公表している。

2.3 環境システム委員会

衛生工学委員会の中には、横断的な環境問題に取り組む小委員会として1970年に環境問題小委員会が設置されている。1987年に、この環境問題小委員会を改組して環境システム委員会が発足している。

日本における環境問題の扱いは、産業活動がもたらす公害や環境破壊に視点が当てられる傾向にあったが、環境を資源として捉え、より高い水準の環境威厳サービスを公正かつ公平に提供するという考え方が広く認知されるにしたがって、環境汚染にとどまらず、物質循環の健全さ、資源循環のエコ効率、水循環の形成、生物生態の保全、歴史的文化的な環境の保全など、対象を幅広く捉えて基盤的な環境として論じる基礎ができた。「環境システム委員会の沿革」によれば、人間と環境との間に人工的な装置や社会的仕組みを介在させることによって、人間にとって快適であり、なおかつ環境それ自身の持続性が確保されるような構図を描くにはシステム論が欠かせないとの考えに基づいて、土木学会内に環境システム委員会が設置された（環境問題小委員からの名称変更）。

1973年より続けてきた環境問題シンポジウムの内容は、環境問題シンポジウム講演集（1973～1987）として取りまとめられ、その後は、環境システム研究論文集、土木学会論文集G（環境）として、多くの論文を公表してきている。

2.4 地球環境委員会

土木学会は、地球環境問題の解決に貢献する施策と具体的方法を研究・評価し、土木学会の内外にその成果に基づく提言を行うことを目的として、1992年に地球環境委員会を設置した。地球環境委員会では、その設置以来、地球環境シンポジウムを開催しているが、1995年以来、Journal of Global Environment Engineering という英文雑誌を発行している。平均掲載論文は約9件で海域や河川域などの水域に関わる論文は平均1.1件である。

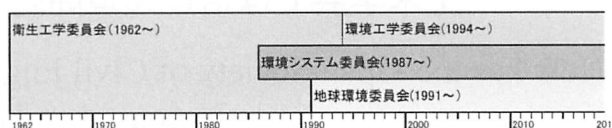


図-2 衛生工学委員会の変遷

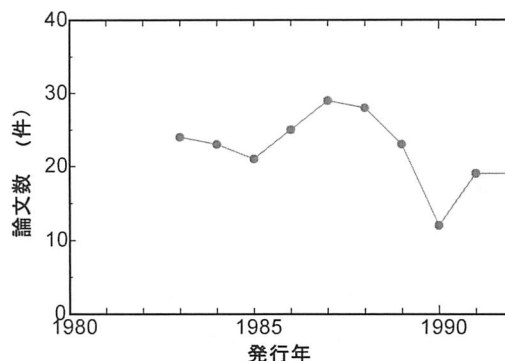


図-3 衛生工学研究論文集の論文数の推移

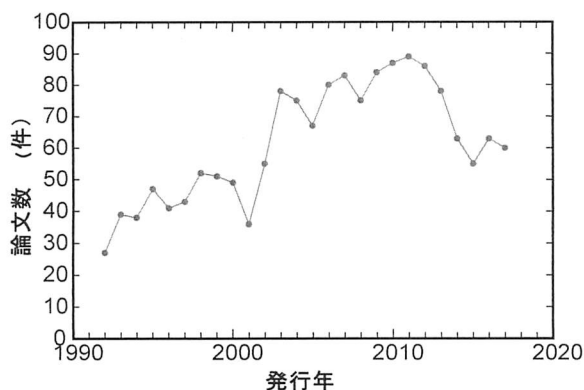


図-4 環境工学論文集の論文数の推移

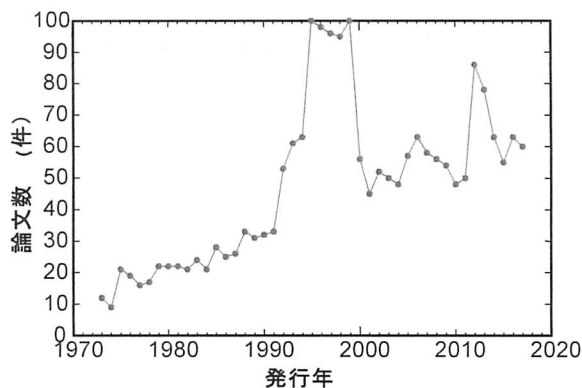


図-5 環境システム研究学論文集（環境問題シンポジウム講演集を含む）の論文数の推移

2.5 水理委員会

水理公式集の編集を目的として、1940年に水理公式調査委員会が設置された。一度成案を得たものの戦争によって消失し、焼け残った資料を基に再検討して1949年に公式集第一刷を刊行した。この出版を機会に、当委員会を常設機関として1952年には全国的な組織に改組した。1956年から水理研究会と改め、現在の水理委員会の体系が作られた。

水理委員会のもとには、これまでいくつかの小委員会が設置されてきた。そのなかのひとつに、1988年に設置され今日も活動を継続している環境水理部会がある。この部会では、「流域圏（河川や湖沼、海域及びそれらの流域）における水理現象や水循環を基礎とし、それらと密接に関係する熱・土砂・水底質・生物環境の実態解明及び理論体系化を促進するとともに、これら流域圏環境を保全・改善するための技術体系を支える学問」として捉え、このような環境水理学に関わる研究や調査、技術開発を、様々な他分野と連携を図りながら積極的に推進すると共に、当該分野の若手研究者の育成をはかることを目的に掲げている²⁾。この水理部会は、後述する沿岸環境関連学会連絡協議会に対する水理委員会の窓口組織として、積極的に活動している。

2.6 海洋開発委員会

土木工学の進展と社会の発展に寄与し、海洋の開発保全についての調査・研究を実施し、その成果を社会に普及させることを目的として、1969年に海洋開発委員会が設置された。この委員会の主たる対象領域は、海洋空間の開発・利用がそのひとつであることは明らかであるが、単に開発や利用だけでなく、時代とともに重要視されてきた環境や生態系との共存、政策との関連など幅広い視野からの調査・研究が求められるようになってきている。すなわち、産業基盤に偏重した社会基盤投資から、生活基盤を優先して環境を保全してゆく投資へと予算配分の構成が変わり、環境配慮型の社会基盤整備のあり方について研究が進められるようになった³⁾。それゆえ、沿岸域環境に関わる論文も、数多く公表されるようになっている。

海岸工学研究発表会論文集 昭和29年11月	
目次	
1. 海岸工学の現況……………	京都大学 教授 工博 石原 藤次郎… 1
2. 最近における海の波の研究の概観……………	運輸省気象研究所技官 理博 中野 稔人… 9
3. 風波と高潮について……………	神戸海洋気象台技官 官崎 正徳… 17
4. 波の屈折と回折……………	東京大学 教授 工博 本間 仁… 23
5. 孤立波……………	中央大学 教授 工博 林 泰造… 27
6. 砕波機構……………	京都大学 教授 理博 速水 延一郎… 35
7. タイダル・フラッシュについて……………	神戸海洋気象台技官 理博 市 栄 登… 45
8. 河口流砂の基礎的性質……………	徳島大学 教授 久 宝 保… 53
9. 沿岸流と漂砂について……………	北海道大学 教授 理博 池田 芳郎… 61
10. 汀線浸食……………	京都大学 助教授 岩 垣 雄一… 69
11. 防波堤に対する波の作用……………	大阪大学 教授 工博 田 中 清… 81
12. 空気防波堤について……………	九州大学 教授 理博 栗 原 道徳… 93
13. 海岸防砂堤について……………	大阪市立大学 教授 工博 永井 莊七郎… 99
14. 海岸堤防の設計について……………	建設省土木研究所技官 工博 佐藤 清一… 105
15. 台風13号による覚知・三重 海岸災害の現状と対策……………	建設省中部地方建設局 海岸堤防建設部長 中 島 武… 113
16. 臨海工事における最近の諸問題； 具体的設計と海岸工学の関係について……………	運輸省三港湾建設局長 天 慧 良古… 131

図-6 海岸工学研究発表論文集第1巻の目次

3. 海岸工学委員会 の環境問題への取り組み

3.1 海岸工学論文集からみた環境問題への取り組み

海岸工学委員会は、1955年に水理委員会からの独立という形で発足している。これに先立つ1954年に、土木学会関西支部の主催として第1回海岸工学研究発表会が開催され、その発表内容が海岸工学研究発表会論文集¹⁾として取りまとめられている。図-6にその目次を示す。その「はしがき」に当時の土木学会

関西支部長近藤泰夫氏が「昨今の相次ぐ災害のうちでも、目立って大きくなったように思われるのは、海岸の災害である」と記しているように、度重なる甚大な海岸災害への適切な対応への科学的な知見の獲得とその実務への適用が、本委員会の当初目的であったと考えられる。もちろん、風による物質混合や密度流の挙動など、沿岸域の環境に関わる研究事例と捉えることができるものもあるが、第14回海岸工学講演会講演集で公表されている「東京湾における汚染について」⁵⁾や「有明海浮泥の渦面変化への影響について」⁶⁾が、当該分野における環境に関わる先駆的な論文と位置づけられよう。その後、第15回海岸工学講演会講演集で「湾内における物質の拡散

—東京湾の場合—」⁷⁾や第21回海岸工学講演会講演集で「人工干潟(1)」⁸⁾が公表されるなど、徐々に環境に関する公表研究が増加する。

第23回海岸工学講演会論文集以降の巻末には、同論文集に掲載されている論文の分類が示されるようになった。図-7に、その分類を示す。同図中に示すように、海岸工学においては、1976(昭和51)年時点で、明確に環境問題がその研究対象として認識されていることがわかる。第23回海岸工学講演会論文集に掲載された論文113件のうち、17件が環境問題に関わる論文として分類されており、その割合は15%である。

1997(平成9)年に刊行された海岸工学論文集第44巻において、この

1. 波

(1) 波一般

(2) 波の変形

(3) 波に対する湾の応答

(4) 不規則波

(5) 風 波
2. 漂砂と海岸過程

(1) 砂移動の機構

(2) 構造物と砂

(3) 海岸過程
3. 海岸構造物

(1) 越 波
- (2) うちあげ

(3) 離岸堤

(4) 波と構造物の干渉

(5) 波力Ⅰ(防波堤など)

(6) 波力Ⅱ(円柱構造物など)

(7) 流体力

(8) 透過性構造物

(9) 海洋構造物
4. 環境問題
5. 流れ
6. 災害・対策・計画
7. その他

図-7 第23回海岸工学講演会論文集分類⁹⁾

- A. 波・流れ・乱れ

(1) 波動理論・モデル(波動方程式、造波理論、など)

(2) 波動場の解析・シミュレーション(波の変形、内部特性、波と流れの干渉、など)

(3) 海底・海水面境界過程(波動境界層、海水-大気間ガス交換、など)

(4) 砕波帯、壅上域の水理(砕波、砕波を伴う波、砕波による乱れ、海浜流、サーフ・ビート、壅上域の波と流れ、海浜での透水・地下水、など)

(5) 不規則波(統計的性質、多方向性、波群性、など)

(6) 波浪推算(風波の発生・発達・減衰、波浪推算モデル、など)

(7) 波群・長周期波、湾水振動

(8) 高潮・津波

(9) 沿岸域の流れ(潮流、海流、吹送流、密度流、河口水理、など)

(10) 沿岸・海洋気象

(11) その他
- B. 漂砂

(1) 漂砂の機構とモデリング(移動限界、砂腿、掃流砂、浮遊砂、シートフロー、前浜の砂移動、底泥・シルテーション、干潟の底質移動、飛砂、など)

(2) 構造物と漂砂(周辺の砂移動と地形変形、港湾施設、シルテーション、など)

(3) 海岸過程(漂砂・飛砂と海浜変形、河口域の漂砂、など)

(4) 広域漂砂(広域土砂収支、土砂生産・消失、など)

(5) 漂砂の制御と海岸保全(制御工法、養浜、など)

(6) 漂砂と海岸植生・養殖・底生生物(二枚貝など)

(7) その他
- C. 構造物・施設

(1) 波の制御(反射、透過、消波、打ち上げ、越波、伝達波、港内静穏度、など)

(2) 流れの制御(構造物周りの流れ、透水性、など)

(3) 波浪・波力、潮流力、地震力、水力

(4) 浮体の動揺・係留力

(5) 港湾構造物・施設(防波堤、護岸、棧橋、岸壁、荷役施設、など)

(6) 沿岸構造物・施設(海岸堤防、離岸堤、人工リーフ、埋め立て地、廃棄物処理施設、人工島、海上空港、発電所施設、沈埋トンネル、など)

(7) 海洋構造物・施設(石油掘削リグ、海底パイプライン、シーバース、など)

(8) 水産構造物・施設(漁港、増養殖施設、漁礁、海岸牧場、など)

(9) 構造物基礎(地盤の安定性、間隙水圧、液状化、地盤改良、など)

(10) 材料、耐久性

(11) 設計法、施工・管理

(12) その他
- D. 沿岸域の環境と生態系

(1) 流拡散・混合過程の基礎理論・モデル(海水交換、温・水・排水問題、など)

(2) 閉鎖性水域・エスチュアリー(富栄養化、貧酸素水域の発生、赤潮、青潮、底泥、など)

(3) 湾域における生態環境(砂浜、干潟、岩場、リーフ、養殖場、など)

(4) 海岸植生・マングローブ

(5) 沿岸生態環境と水産

(6) 構造物と生態系

(7) 生態系モデル

(8) 地下水環境(塩水侵入、地下水汚染、など)

(9) 大気環境(飛塵、大気汚染、など)

(10) 広域環境・生態システム(陸域との関連も含む)

(11) 環境制御・改善(制御構造物の設置による流況改善、成層破壊、養砂、など)

(12) 生態系の保全・修復・創造(人工干潟、人工藻場、など)

(13) その他
- E. 地球環境問題

(1) 海洋・気象の変化(海面上昇、台風、降雨、波浪、など)

(2) 沿岸の自然環境への影響(海岸侵食、サンゴ礁、マングローブ林、など)

(3) 社会基盤施設への影響(港湾施設、内水排除システム、など)

(4) 対応戦略

(5) その他
- F. 沿岸域のアメニティ・人間工学

(1) 海岸・港湾景観

(2) 音環境、大気(風熱)環境、その他の五感環境

(3) 海岸・港湾空間デザイン

(4) 健康と海岸・港湾利用(クランセラピー、など)

(5) 海岸・港湾施設と人間工学

(6) その他
- G. 沿岸・海洋開発

(1) 海洋エネルギー(波力発電、風力発電、など)

(2) 海洋資源(傾層水、海底石油、マンガン団塊、など)

(3) 海上交通・システム(TSL、北極航路、海上空港、など)

(4) 水産システム

(5) マリンスポーツ(マリナー、など)

(6) ウォーター・フロント開発

(7) その他
- H. 計画・管理

(1) 港湾計画・マネジメント、港湾物流

(2) 防災計画・管理

(3) 環境計画・管理

(4) 水産資源計画・管理

(5) ミチゲーション、環境システム評価・予測

(6) 沿岸域総合管理・利用計画

(7) その他
- I. 災害調査報告
- J. 海岸(主として発展途上国)における海岸工学上の諸問題

(1) 漂砂・シルテーション

(2) 海岸防災

(3) 環境問題

(4) 技術協力体制・人材育成

(5) その他
- K. 計測・モニタリング、実験手法、情報処理

(1) 調査方法・システム(海象・気象・海底地盤・地形・漂砂・生物調査、など)

(2) リモートセンシング(衛星、GPS、海洋短波レーダー、音探、など)

(3) 計測システム、データ処理システム、実験装置

(4) 情報処理(データベース、CG、など)

(5) その他

図-8 海岸工学論文集第44巻分類¹⁰⁾

分類が刷新される。海岸工学の発展のためにはより学際的な研究の知見や見識を導入すべきであるとの議論の結果として、それまでの力点を置いてきた力学中心の研究分野に加えて、生態系や地球環境問題、アメニティ・人間工学、計測手法などの新しい分野を明確に研究対象として位置づけて海岸工学分野の対象領域の拡充を図る意志を表明の表れである。図-8に、新たな分類を示す。

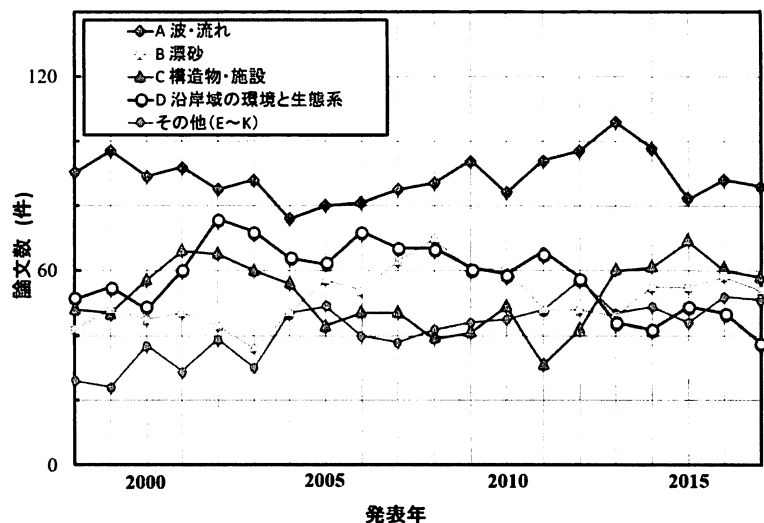


図-9 近年の海岸工学論文集に掲載されている分野別論文数の推移

1997年以来、多少の変更はあるものの、概ね、ここで記されている

分類に従って、海岸工学論文集に掲載されている論文は分類されている。

図-9は、海岸工学論文集に掲載されている論文を大きく波・流れ、漂砂、構造物・施設、沿岸域の環境と生態系、その他に分類し、それぞれの分類に区分されている論文数の推移を示したものである。同図によれば、沿岸域の環境と生態系に区分される論文は、2002年に80件近くの掲載数を示し、2012年頃までは60件以上のほぼ一定の掲載数であったが、2011年以降は減少傾向を示し、近年では40件程度の掲載数を維持していることがわかる。

3.2 海岸工学委員会地球環境問題研究小委員会による環境研究への取り組み

1992年6月に170カ国の参加の下に「環境と開発に関する国連会議」（いわゆる地球サミット）が開催されて「持続可能な開発」を目指した地球環境保全行動計画が採択されるなど、20世紀末には、国際政治の場においても地球環境問題に対する世界的な関心が急速に高揚した。地球環境問題には科学的・工学的観点から不確実性や未解明な点等が数多く残されていたために、必ずしも各国の足並みの揃った迅速な行動変化には結びつきはしなかった。現在においても、尚、認識が共有されているとは言えない。しかし、地球環境問題は、あらゆる生命の生存基盤に関わる根幹的な問題であるとともに、事態の時間的進行特性を考慮すれば、現在対処を誤れば取り返しのつかない事態を招くことが徐々に認識されるに至っている。

34,000 km 余りの海岸線を有する日本にとって、海は、生活、生産、物流、余暇など、国民生活と切り離すことができない存在である。ときには、高潮や津波などの沿岸災害も発生する。利用価値が高く、国民の多くが沿岸低平地に暮らす日本にとって、地球温暖化に伴う海面上昇や気象・海象の将来変化に対する十分な理解と適切な対処への指針が強く求められるようになってきた。

このような状況を背景として、海岸工学委員会は1991（平成3）年に「地球環境問題研究小委員会」を設置し、「海岸工学に関わる地球環境問題」なるテーマを掲げ、地球温暖化に伴う海面上昇、水温上昇、気象・海象変動と、そそれが沿岸域に及ぼす影響、ならびにそれらの影響に対する対応策を対象として研究に取り組んだ。その成果は、「地球温暖化の沿岸影響【海面上昇・気候変動の実態・影響・対応戦略】」¹¹⁾に取りまとめられている。本書は、4編から構成されている。まず、第I編「地球温暖化に伴う海象・気象の変化」においては、過去の日本の地域的な気候変動の資料を調べ、

- ・降雨量や洪水頻度は過去に数十年の周期性が認められ、温暖期と寒冷期の移行期に増加していること
- ・温暖化によってわが国への台風の上陸数は、長期的には減少傾向にあること
- ・気温に関しては、特に大都市周辺でのヒートアイランド現象に伴う、冬期の最低気温の寄与が大きいこと
- ・海面上昇に関しては、グローバルの予測と並行して、教員の局所性や地殻変動、地盤沈下の影響等の評価

をも十分に行うことが重要であること

などを指摘するに至っている。第Ⅱ編「沿岸域の自然環境と自然資源に対する影響」においては、わが国の自然沿岸域の現状について整理し、自然システムの各要素に対する影響を抽出して、影響伝播図に取り纏める。従来の海岸工学の枠組みを越え、生態系、景観、レクリエーション資源をも網羅している。これらによって、海面上昇や気候変動が、極めて多種多様な影響を沿岸域に及ぼす可能性が高いことが改めて明らかにしている。また、影響度評価法についても、詳細なレビューと検討を行った結果を示すとともに、代表的ないくつかの項目を対象に定量的評価を実施した結果として、砂浜の縦断地形の変化、砂嘴や海崖の侵食、エスチュアリーでの水質やプランクトンの消長等に対する影響が特に大きいことを示している。第Ⅲ編「沿岸域の社会基盤施設への影響」においては、海面上昇に対する日本の沿岸域の脆弱性を明らかにしたうえで、社会インフラに及ぼす影響項目、影響伝播経路、影響の評価手法を整理・揭示している。第Ⅳ編「温暖化の対応戦略」においては、国内外の対応策検討事例を紹介・評価している。そのうえで、対応戦略に関して短期的対応と中長期的対応に分けて時間シナリオを考慮するとともに、過去の事例にとらわれぬ発想の下にさまざまな対応策を提示し、戦略の組み立て方についても論じている。

以上のように、地球環境問題の解決や持続可能な開発に貢献できるように海岸工学の展開を図るためには、広い角度から海岸/沿岸域の開発や利用のあり方を捉え直す必要があるとの認識に至っている。このような認識を受けて、1994（平成6）年から、地球環境問題研究小委員会第2期活動として、問題意識の提示と自由な討論を通して直面する課題と将来の方向性を浮き彫りにしてゆく作業に重点を置いた取り組みを行っている。その成果は、「沿岸域のあり方—21世紀に向けた海岸工学の課題—」¹²⁾に取り纏められている。本書は、大きく3編から構成されている。第Ⅰ編「沿岸域の防災」においては、防災に関する研究と実務上の努力が払われた結果として海岸・沿岸域の安全性が向上したものの、設計外力を越えるイベントが発生すると災害が極めて巨大化するといった逆説的な状況が広がっていると指摘している。そのうえで、防災目標や防災基準の考え方、設計値を上回る外力に抵抗する粘りのある施設設計法、海岸侵食対策等に関する問題提起が為されている。第Ⅱ編「沿岸域の利用」においては、わが国の港湾の国際的地位の低下、水産資源・漁獲高の減少、エネルギー施設・廃棄物処理施設の沿岸立地などを対象として、これらの問題の個別分析、開発・利用と防災や管理、コストとの整合性の確保を巡る問題、さらには、大都市周辺とは異なる地方の沿岸域開発に関する問題などが指摘され、社会的課題と技術的課題が提示されている。第Ⅲ編「沿岸域の環境保全と総合管理」においては、わが国と諸外国の沿岸域管理制度やミチゲーション、環境保全技術、沿岸域の総合管理のあり方などについて検討し、それぞれに関する社会的・技術的課題を提示して、その後の沿岸域のあり方に焦点を当てている。

以上のように、第2期活動は、沿岸域の防災と利用の実状に鑑みて、その後の環境保全と総合管理の重要性を指摘するに至っている。特に、我が国では沿岸域における産業開発や防災のための施設整備を急速に進めた結果として自然環境が消滅しつつあること、その環境を回復・保全するための多くの事業・プロジェクトが進められていることを認識する一方、健全な沿岸開発、防災システム、適正利用はこれからも必須であり、開発と保全を適正に実施していくためには、沿岸域での合理的な管理方法の確立が求められると認識するに至っている。そこで、「沿岸域における広域環境問題」というテーマを掲げ、1998年から、地球環境問題研究小委員会第3期活動を行っている。第1期および第2期の小委員会委員は土木学会員に限定されていたが、第3期の小委員会委員は土木学会員に限らず沿岸域環境に携わる学会等の会員が数多く参画しているところに大きな特徴・先駆性がある。その研究成果は「沿岸域における広域環境問題の取り組み」¹³⁾に取り纏められている。第1分科会「沿岸水質・生態系」の報告では、生態系研究に関するそれまでの経緯を包括的に述べ、生態系評価に用いられてきたモデルや評価指標を取り纏めるとともに、それらを用いるうえでの問題点を指摘している。また、生態系モデルによる、シミュレーション結果を用いた生態系の評価という新しい考え方に基づき、生態系の物質循環を指標化した新しい評価指標を提案している。さらにこれを実水域を対象とし

たシミュレーション結果に適応することにより、その特徴や問題点について考察し、その後の課題・展望を示している。第2分科会「陸域・外洋との相互作用」の報告では、沿岸水域環境の総合的理解を進めるため、海岸工学の研究者、陸域からの流出問題を専門とする研究者、海洋学や水産学の研究者らが利用・収集している沿岸環境データを整理してデータベースとして提示するとともに、沿岸環境を研究する際に必要となるデータベースのあり方について検討している。第3分科会「環境評価」の報告では、1996年の環境アセスメント法の施行、2000年の新海岸法の施工を受けて、これらの法の理念をいかに具体化するか、さらにその枠組みを越えたその後の環境問題への取り組み方について、

- ・米国の環境評価手法（HEP, BEST, HGM）と我国への適用の問題点
- ・CVMをはじめとする環境質の経済評価手法
- ・ミチゲーションの我国の導入にあたっての課題
- ・藤前干潟埋立計画に関する環境問題について
- ・三番瀬埋立計画に関する環境問題について
- ・新環境アセスメント法とその運用上の課題について
- ・今後の環境問題への取り組み方について

などのテーマに基づく議論の結果を取り纏めている。第4分科会「海陸広域環境システムに関する合同観測」の報告では、沿岸生態系がおかれている危機的な状況に鑑みて、さまざまな専門家からなる多面的なアプローチにより沿岸環境を陸域沿岸外洋系の総体とした広域環境システムとして捉えることの必要性を説くとともに、鹿島灘を対象とした他分野連携型の現地観測を実施し、陸水や外洋の影響に焦点を当てた海陸広域環境システムの実施例を示している。

第3期地球環境問題研究小委員会の活動は、土木学科、日本海洋学会海洋環境問題委員会、日本水産工学会、日本水産学会が2000年7月に合同で開催したジョイントシンポジウムを経て、2000年11月の沿岸環境関連学会連絡協議会の設立に結びついたという点において、極めて大きな意義を持っていたと判断される。その後、沿岸環境関連学会連絡協議会には、土木学会水工学委員会、日本船舶海洋工学会海洋環境研究会、応用生態工学会、日本海洋学会沿岸海洋研究部会、日本沿岸域学会、日本ベントス学会、日本プランクトン学会が参画し、2017年12月までに34回のジョイントシンポジウムを開催するに至っている。また、他分野連携型現地観測は大量の赤潮やノリの色落ちなどの沿岸域環境問題が顕在化した有明海の大規模調査研究にも結びついたと考えられ、その提案は意義深いものであったと思われる。

3.3 海岸工学委員会沿岸域研究連携推進小委員会による環境研究への取り組み

前述のように、地球環境問題研究小委員会は、3期の活動を経て沿岸環境関連学会連絡協議会へと引き継がれた。海岸工学委員会では、この沿岸環境関連学会連絡協議会の取り組みを積極的に推進していくことを目的として、沿岸域研究連携推進小委員会を設置した。ジョイントシンポジウムとしては、「有明海の環境・漁業を考える」（第3回、2001）、「宍道湖・中海の今後を考える－生態系機能評価と環境修復－」（第4回、2001年）、「干潟生態系の危機－その現状と再生方策－」（第9回、2003年）、「海域環境から見た陸域流出の問題とその構造」（第13回、2005年）、「流域から沿岸までの土砂動態が生物生息環境に及ぼす影響を考える」（第18回、2007年）を主催している。このほかにも、「土木海岸・海洋環境学」（2001年、土木学会地球環境委員会土木海岸・海洋環境学研究小委員会との共同主催）、「安全な海岸の利用に向けて」（2004年、海岸工学講演会前日シンポジウム）、「相良海岸離岸流調査（2007～2008年）」、「静穏時離岸流とその予測－海岸利用者からみた海岸構造物設計の課題－」（2008年、海岸工学講演会前日シンポジウム）、「東日本大震災と環境」（2016年、海岸工学講演会企画セッション）などの活動を展開してきている。

海岸工学委員会では、海岸工学論文集データベースを整備している。沿岸域研究連携推進小委員会では、このデータベースを活用して、海域ごとの環境研究の変遷を顧みるという作業を行っている。この作業を通じて、各海域における環境問題の特性を把握するとともに、研究手法を比較・検討することによって新たな

研究シーズを見出すとともに、社会情勢や震災・気候変動などを踏まえてこんごん環境研究のあり方を模索することを目的としている。以下には、このような活動の状況について記す。

4. 海岸工学データベースを活用した環境問題への取り組みの振り返り

海岸工学における環境研究の変遷調査は、東京湾、伊勢・三河湾、大阪湾、瀬戸内海、有明海のそれぞれの海域、および、侵食・洗掘・吸出しに関する研究を対象として、個票として取り纏めることから始めている。海岸工学論文集データベース (<http://www.coastal.jp/kaiko-db/kaiko/database.html>) で、例えば、「東京湾」をキーワードとして検索された論文を抽出し、個々の論文に記載されている情報を個票として取り纏めている。ただし、キーワード検索による抽出論文を対象としているため、不適切と判断される論文が検索結果として提示された場合には対象外としている。また、必ずしも抽出すべき論文がすべて抽出されていないこともあり得ることを付記しておく。試行錯誤を重ねた個票は、

(1) 論文情報

発表年、論文名、著者名、キーワード、論文雑誌名・巻・号、リンク（電子ファイルがある場合）

(2) 対象場（複数選択可）

湾全域、湾口域、湾奥域、港湾域、河口域（河川流入を含む）、藻場、干潟、砂浜、磯浜・礫浜、海底（湾スケールの底質・底泥の輸送、深堀、航路）、瀬戸内海全域（瀬戸ー灘の多重連結システムの重要性を考慮して）

(3) 対象現象

(3)-1 富栄養化：栄養塩（赤潮を含む）に着目した研究

(3)-2 貧栄養化：栄養塩に着目した研究

(3)-3 貧酸素化：溶存酸素、還元物質、青潮などに着目した研究

(3)-4 流動：潮流、海浜流、湧昇、吹送流、エスチャリー循環に着目した研究

(3)-5 物質輸送：質の変化を伴わない物質の輸送・拡散、熱、光に着目した研究

(3)-6 物質循環：栄養塩や生態系(卵・子稚魚等)等の質の変化を伴う物質の輸送や浄化に着目した研究、人工干潟、藻場造成等を含む

(3)-7 生物生息環境：浄化機能を発現するための生物の生息環境に着目した研究

(3)-8 堆積物の移動：海岸保全、植生、藻場、地形変化、飛砂などに着目した研究

(3)-9 堆積物の性状：底質、底泥、地形変化、航路などに着目した研究

(3)-10 大気・海洋相互作用：

(3)-11 気候変動：地球温暖化に着目した研究

(3)-12 外海影響：外海水貫入等の影響に着目した研究

(3)-13 高潮・台風・津波：

(3)-14 塩害：

(3)-15 事故：油流出など

(4) 研究手法（複数選択可）

(4)-1 現地調査・現地観測：現地の情報・知見を得るために自らが行った調査・観測に関する研究

(4)-2 現地実験：現地で行った実験

(4)-3 模型実験・室内実験：室内で行った実験

(4)-4 数値計算(手法)：計算手法の開発・提案を主とした研究

(4)-5 数値計算(解析)：数値計算を手段として利用した研究

(4)-6 文献・記録調査：他者が文章として残した記録などを利用した研究

(4)-7 データ解析：他者が行った調査・観測データを利用した研究

(5) 備考

で構成されている。作業結果の一例を下記に示す。

4.1 瀬戸内海の研究環境の変遷

瀬戸内海における環境に関わる論文は、1970年に公表された「瀬戸内海における海水の交流と物質の拡散」¹⁴⁾を始めとして178件が抽出されている。抽出した論文数の推移は、図-10に示す。2000~2009年に論文数が多くなっていることがわかる。

表-1には、瀬戸内海に関する環境研究の研究対象の変遷を、表-2には、研究手法の変遷を取り纏めた結果

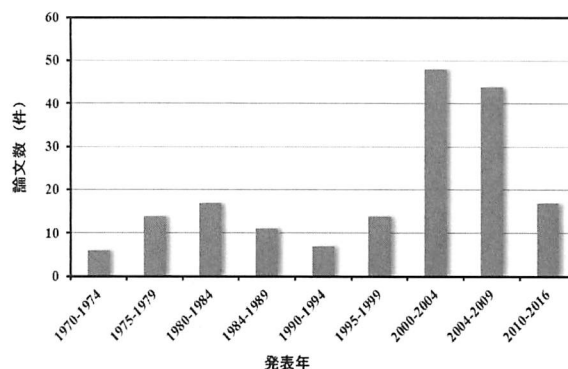


図-10 瀬戸内海に関する研究論文数の推移

表-1 研究対象ごとの論文数の比率の変遷（瀬戸内海）

年代	論文数	(3)-1	(3)-2	(3)-3	(3)-4	(3)-5	(3)-6	(3)-7	(3)-8	(3)-9	(3)-10	(3)-11	(3)-12	(3)-13	(3)-14	(3)-15
1970-1974	6	0.000	0.000	0.000	0.167	0.833	0.167	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1975-1979	14	0.000	0.000	0.000	0.357	0.286	0.071	0.071	0.214	0.071	0.000	0.000	0.000	0.071	0.000	0.071
1980-1984	17	0.000	0.000	0.000	0.647	0.412	0.000	0.000	0.059	0.000	0.000	0.000	0.000	0.118	0.059	0.000
1984-1989	11	0.000	0.000	0.000	0.364	0.273	0.182	0.091	0.091	0.182	0.000	0.000	0.000	0.091	0.000	0.000
1990-1994	7	0.000	0.000	0.000	0.143	0.143	0.000	0.000	0.429	0.143	0.000	0.000	0.000	0.143	0.000	0.000
1995-1999	14	0.143	0.000	0.000	0.286	0.214	0.000	0.214	0.214	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2000-2004	48	0.313	0.000	0.000	0.458	0.208	0.063	0.146	0.188	0.104	0.125	0.000	0.104	0.208	0.000	0.000
2004-2009	44	0.045	0.000	0.000	0.477	0.136	0.023	0.182	0.023	0.182	0.341	0.114	0.068	0.477	0.023	0.000
2010-2016	17	0.000	0.000	0.000	0.471	0.353	0.059	0.412	0.000	0.000	0.000	0.176	0.176	0.235	0.000	0.059

を示す。表中の値は、年代ごとに発表された論文数に対するそれぞれの論文数の比を表している。研究対象および研究手法を表す数値記号（例えば、「(3)-1」など）は、前項の記述を参照していただきたい。また、数値は、各論文数を年代ごとに抽出した論文数で除した、いわゆる、割合を示したものである。ただし、研究対象も研究手法も複数の項目を対象としているものがあるので、年代ごとのそれらの総和が1.000とは必ずしもならないことに注意が必要である。研究対象の傾向としては、1970~1989年の期間では、「(3)-4 流動」（残差流、海水交換を含む）に関する研究が多く、特に、瀬戸内海大型水理模型を用いた検討が「(3)-4 流動」，「(3)-5 物質輸送・拡散」の約3割を占めている。「(3)-5 物質輸送・拡散」についてはボックスモデル等を用いた塩分の計算がメインである。「(3)-9 堆積物の性状」に着目した研究は少ない。堆積物の性状に着目した1988年の堀江の研究¹⁵⁾は、物質循環モデルが初めて瀬戸内海に適用されるとともに、初めて栄養塩に着目した研究として位置づけられる。ただし、この期間中に、「(3)-1 富栄養化」を対象とした研究はない。1990~1999年の期間においては、後半になってようやく「(3)-1 富栄養化」に関する調査研究の報告が行われている。同時に、人工干潟やアマモなどの「(3)-7 生物生息環境」に関する研究報告があがってきている。この期間においては、「(3)-5 物質輸送・拡散」に関する研究が減少傾向となっている一方、「(3)-8 堆積物の移動」（養浜）に関する研究が多く行われている。2000~2009年の期間においては、富栄養化、流動、物質循環、生物生息環境、砂移動、堆積物の性状、大気・海洋相互作用、気候変動、外洋影響、高潮、塩害など、研究の対象事象の多様性が広がっている。特に、流動および高潮に関する研究は顕著に多く、富栄養化、物質循環、生物生息環境、堆積物の性状に関する研究も活発である。高潮や波浪推算に関する研究が増大しはじめるのもこの期間である。併せて、気象から海象を推算する手法の発展とともに「(3)-10 大気・海洋相互作用」に関する研究が増大している。外洋が瀬戸内海の研究環境に及ぼす影響に関する研究も記の期間から出現し始めている。2010~2016年の期間においては、瀬戸内海全体を対象とした流動、物質輸送、高潮、気候変動、

表-2 研究手法の変遷（瀬戸内海）

年代	(4)-1	(4)-2	(4)-3	(4)-4	(4)-5	(4)-6	(4)-7
1970-1974	0.000	0.167	0.500	0.000	0.000	0.000	0.333
1975-1979	0.429	0.071	0.357	0.000	0.214	0.000	0.143
1980-1984	0.529	0.000	0.235	0.059	0.235	0.000	0.176
1984-1989	0.364	0.000	0.364	0.182	0.364	0.000	0.182
1990-1994	0.000	0.429	0.143	0.000	0.143	0.000	0.286
1995-1999	0.500	0.000	0.214	0.000	0.500	0.000	0.071
2000-2004	0.438	0.042	0.042	0.000	0.375	0.000	0.375
2004-2009	0.295	0.000	0.045	0.023	0.659	0.000	0.318
2010-2016	0.235	0.000	0.000	0.471	0.824	0.000	0.118

研究の対象事象の多様性が広がっている。特に、流動および高潮に関する研究は顕著に多く、富栄養化、物質循環、生物生息環境、堆積物の性状に関する研究も活発である。高潮や波浪推算に関する研究が増大しはじめるのもこの期間である。併せて、気象から海象を推算する手法の発展とともに「(3)-10 大気・海洋相互作用」に関する研究が増大している。外洋が瀬戸内海の研究環境に及ぼす影響に関する研究も記の期間から出現し始めている。2010~2016年の期間においては、瀬戸内海全体を対象とした流動、物質輸送、高潮、気候変動、

外海影響に関する研究が多い。

研究手法について見れば、1970～1989年の期間には、「(4)-1 現地調査・現地観測」の比率がかなり高い。これと並んで、瀬戸内海大型水理模型をはじめとする「(4)-3 模型実験」による研究論文が多いことが特徴である。一方、数値計算による研究においては、研究者が独自でシミュレーションコードを開発し、主に、1次元あるいは2次元として現象を捉えて主に流動解析を行っている。1990～1999年の期間には、特に傾向はみられないが、産総研の瀬戸内海水理模型による実験的研究が顕著である。2000年以降では、ADCPやSTDをはじめとする現地観測機器が利用されるようになって、現地調査・現地観測に基づく研究が盛んになり、流動と水質、生物の生息環境、大気・海洋相互作用を絡めた総合的な研究がみられるようになった。その一方で、数値計算を用いた研究が急激に増加する傾向が見られる。また、瀬戸内海という多様性に富んだ領域を研究の対象としていることに起因すると思われるが、さまざまな機関が調査したデータを解析する研究も増加している。特に、2010年以降には、海洋モデル（JCOPE-2やFRA-JCOPEなど）を用いて境界条件を求めたうえで、ネスティング手法を用いて瀬戸内海内の流動や環境を計算する手法が多用されるようになってきている。波浪・海洋結合モデルや、潮汐・津波相互作用モデルなど、多くの汎用モデルの開発と計算資源の性能向上によって、大規模な数値計算（外洋—内湾、波浪—海洋、潮汐—津波）が積極的に行われるようになった。

4.2 東京湾の環境研究の変遷

東京湾における環境に関わる論文は、1964年に公表された「東京湾の潮流に関する実験的研究—潮流実験の相似性について」¹⁶⁾をはじめとして231件が抽出されている。東京湾の環境に関する研究は、1990年代前半から急増し、1995年以降はほぼ100件程度の論文が公表されていることが、図-11からわかる。流動に関する研究は71件と最も多く、次いで、貧酸素化に関する研究（55件）、富栄養化（54件）、物質輸送（38件）、生物生息環境（31件）、堆積物の性状（25件）、高潮（25件）と続く。研究対象および研究手法の変遷の概観を、図-12に示す。比較的早期には、物質拡散や海水交換、有機汚濁に関する研究が、水理模型実験や2次元流動シミュレーションモデルを用いて取り組まれていたことがわかる。1990年初頭からの貧酸素水塊・青潮の研究に端を発し、その後、富栄養化、流入負荷、底質環境、干潟・海藻草場などの研究へと急速に研究の対象となる現象が広がったことがわかる。このような研究対象に呼応して、シミュレーションモデルの開発が活発に進められたことも窺える。

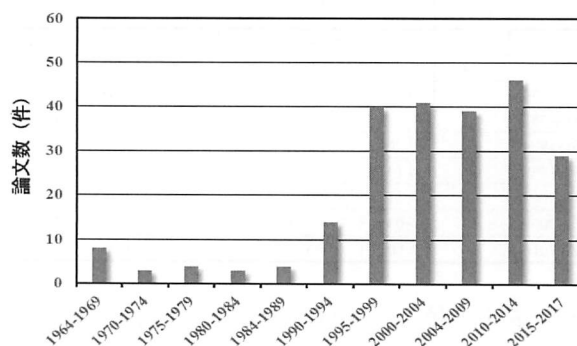


図-11 東京湾の環境に関する研究論文数の推移

以上のように、東京湾の環境に関する研究の特徴として、貧酸素・青潮に関する研究が挙げられる。そこで、東京湾の貧酸素に関わる研究を

- 1) 貧酸素水塊の（挙動を支配する）物理過程・素過程
- 2) 貧酸素水塊の挙動に関する現地観測・衛星観測
- 3) 浚渫窪地
- 4) 貧酸素水塊及び青潮の数値モデル
- 5) 貧酸素水塊の対策技術
- 6) 生物・生息場関係

という観点で、整理を試みている。

4.2.1 貧酸素水塊の（挙動を支配する）物理過程・素過程

物理過程・素過程については基本的な湧昇の機構と青潮の発生メカニズムの推定が水理実験、数値モデルによって検討され（尹ら¹⁷⁾、中辻ら¹⁸⁾）、その後、湾内の貧酸素水塊動態へ外洋水進入の重要性和進入深度

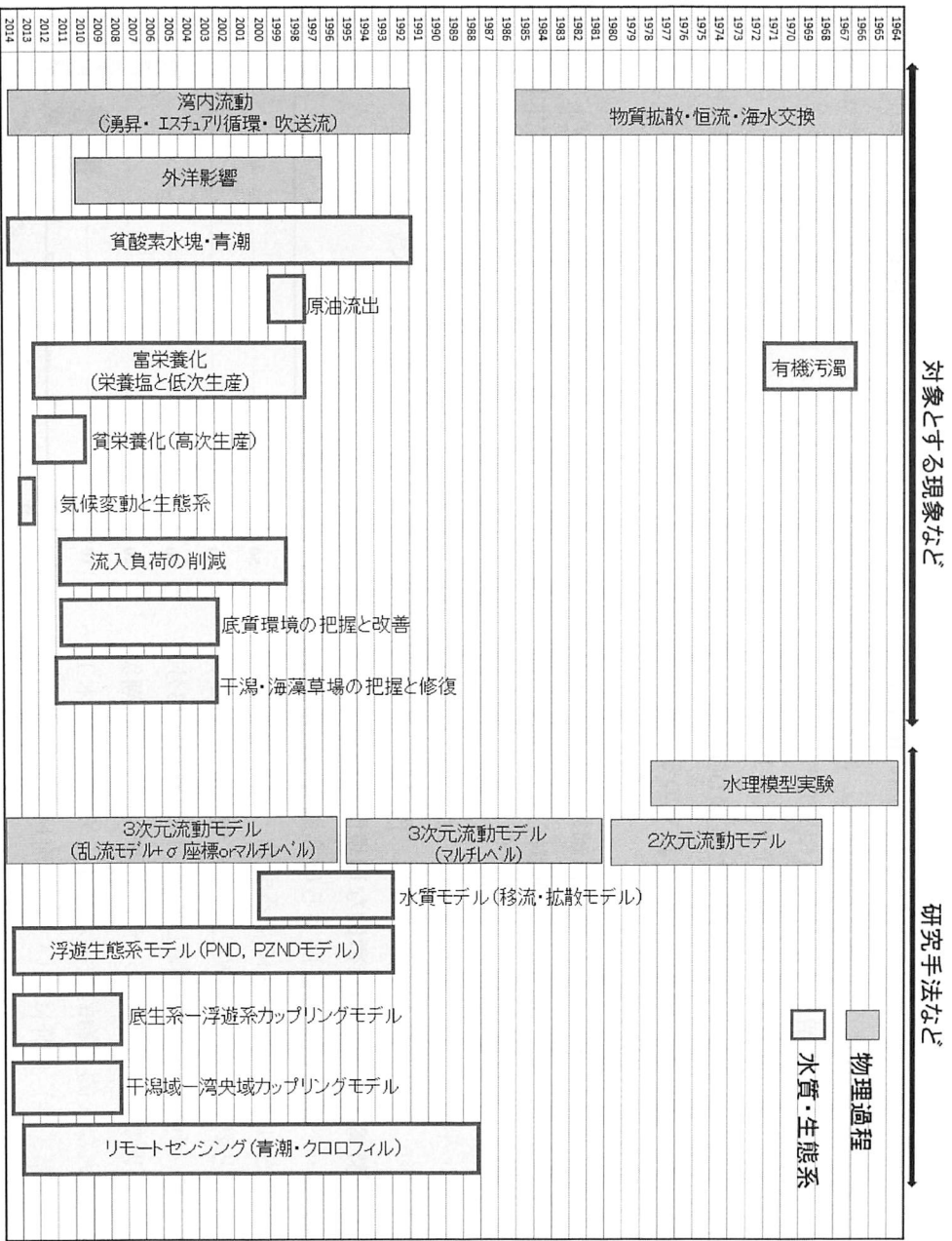


図-12 東京湾の環境に関する研究の概観

の算定法が示されている (藤原ら¹⁹⁾。また、貧酸素水塊の消長へ与える影響として、出水時の陸域負荷 (二瓶ら²⁰⁾、貧酸素水塊解消に寄与する強風継続時間変化の長期予測 (丸谷ら²¹⁾、貧酸素水塊と鉛直混合強度 (東・牧^{22, 23)} など検討がなされている。

4.2.2 貧酸素水塊の挙動に関する現地観測・衛星観測

現地及び衛星観測については、衛星観測データによる湧昇現象や青潮の検出がまず試みられた (上野ら²⁴⁾、宮崎ら^{25, 26)}。その後、年スケールの長期観測によって溶存酸素の年間変動の基本特性の把握 (八木ら²⁷⁾、低次生態系要素変動に伴う貧酸素メカニズムの検討 (鯉渕ら²⁸⁾ が行われている。さらに詳細な貧酸素水塊の動態として湾外水進入と貧酸素水塊動態の観測 (八木ら²⁹⁾、貧酸素水塊の解消過程の検討 (中島ら³⁰⁾、中川³¹⁾ が行われている。

4.2.3 浚渫窪地

浚渫窪地については、浚渫窪地の湧昇など物理過程の把握 (五明ら³²⁾、梅山・新谷³³⁾ がまず行われ、その後、浚渫窪地の青潮への影響や窪地の水質の検討 (佐々木ら³⁴⁾、田中ら³⁵⁾、市岡ら³⁶⁾ の検討が行われており、東京湾ではこの問題に詳細に取り組まれている。

4.2.4 貧酸素水塊及び青潮の数値モデル

数値モデルについては、1次元、3次元流動モデルを用いた酸素消費推定や窪地湧昇の検討が行われ (佐々木ら^{37, 38)}、その後、流動モデルと低次生態系モデルを組み合わせ、一次生産と貧酸素化の関係性の解析 (塚田ら³⁹⁾、田中ら⁴⁰⁾、佐々木ら^{41, 42)} が行われた。また、気象データと簡易流動モデルを組み合わせによる青潮発生子潮の試み (佐々木ら⁴³⁾、ナウキヤストシミュレーションによる風と貧酸素水塊移動の関係性の解

析も行われるようになった（鯉渕ら⁴⁴⁾）。その後、2008～2010年にかけて、浮遊系-底生系、干潟-湾中央域を結合した生態系モデルを用い、堆積物内の酸素消費メカニズム（相馬ら⁴⁵⁾）、干潟浅海域の酸素生成消費メカニズム（相馬ら⁴⁶⁾）、流入負荷削減と貧酸素化改善の関係性（相馬ら⁴⁷⁾、永尾ら⁴⁸⁾）、干潟復元に伴う貧酸素化改善と生物増加の関係性（相馬ら⁴⁶⁾）が試みられている。2011年になると、気象データと生態系モデルを用いたリアルタイムDO分布予測（石井ら⁴⁹⁾）、河川流量調整による貧酸素改善効果の予測（佐谷ら⁵⁰⁾）、HFレーダと生態系モデルを用いた底層DOと風・河川流量の関係性（鈴木ら⁵¹⁾）、貧酸素化と温暖化の関係性の予測が生態系モデルにて行われている（濱田ら⁵²⁾）。

4.2.5 貧酸素水塊の対策技術

貧酸素改善技術については、微細気泡青潮制御技術（マイクロバブル）の検討が2003～2004年に集中的に行われ（佐々木ら⁵³⁾、田中ら⁵⁴⁾、鯉渕ら⁵⁵⁾）、浚渫窪地への導水による改善効果も検討されている（吉本ら⁵⁶⁾）。

4.2.6 生物・生息場関係

生物・生息場に関する検討は限られているが、底泥酸素消費速度と微生物群集構造との関係（藤田ら⁵⁷⁾、遠藤ら⁵⁸⁾）及び干潟タイプによる二枚貝類への青潮影響度（森・二瓶⁵⁹⁾）が調べられている。

4.3 伊勢湾・三河湾の特徴的な環境問題研究

伊勢・三河湾の環境に関する研究論文は、1954年に公表された「台風13号による愛知・三重海岸災害の現状と対策」⁶⁰⁾を始めとして、91件が抽出されている。伊勢・三河湾に関しては、1953年台風13号、1959年伊勢湾台風、2009年台風18号等による高潮災害で甚大な人的・物的被害が発生したため、土木工学（海岸工学）分野においては、海域環境研究より沿岸防災研究が活発に実施されてきた。91件の抽出論文のうち、33件が高潮（台風）に関する論文である。ただし、流動に関する研究論文も33件が抽出されている。

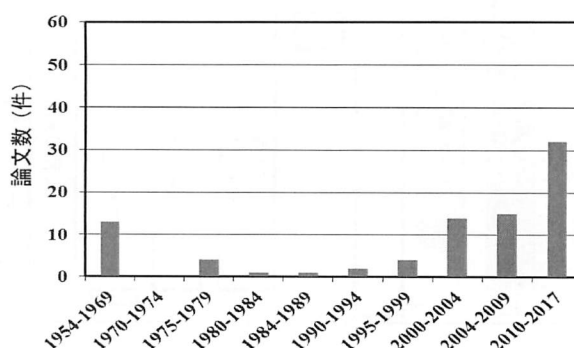


図-13 伊勢・三河湾海岸に関する研究論文数の推移

伊勢湾の特徴的な環境問題研究については、1970年代後半、伊勢湾水理模型実験（名古屋港湾技術調査事務所所有）と現地調査から、伊勢・三河湾の流況と海水交換について検討されている。1980年代になると（特に、1980年代後半以降）、現地観測（ADCP、CTD等）による湾内の潮汐残差流・密度成層の構造解明、水質調査・解析、栄養塩等の物質輸送等に関する研究が積極的に行われている。また、曳航観測に加えて、リモートセンシングによるクロロフィル濃度推定、VHFレーダによる表層流観測等も実施されている。数値解析に関しては、準3次元バロクリニック流動モデル、大気-海洋-波浪-水質結合モデル等が開発され、現地に適用されている。また、2000年代以降では、青潮（伊勢・三河湾では、苦潮）の発生原因である貧酸素水塊の動態、生態系問題（アサリ資源量、干潟生物等）、底質移動・土砂輸送問題、河口干潟問題、浮遊系を考慮した生態系モデルの構築、地球温暖化による水温の将来変化等、幅広い海域環境研究が進められている。

4.4 大阪湾の環境研究

大阪湾の環境に関する研究論文は、1956年に公表された「明石海峡における播磨灘と大阪湾との海水交流について」⁶¹⁾を始めとして、211件が抽出されている。抽出した論文数の推移は、図-14に示す。1990年代後半の論文数の増加が顕著であることがわかる。伊勢・

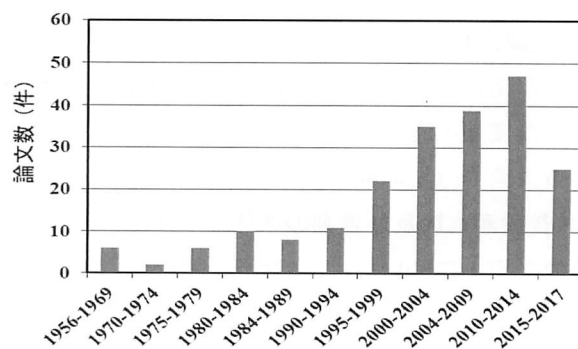


図-14 大阪湾の環境に関する研究論文数の推移

表-3 研究対象の論文数の変遷（大阪湾）

年代	論文数	(3)-1	(3)-2	(3)-3	(3)-4	(3)-5	(3)-6	(3)-7	(3)-8	(3)-9	(3)-10	(3)-11	(3)-12	(3)-13	(3)-14	(3)-15
1956-1969	6	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
1970-1974	2	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1975-1979	6	0	0	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
1980-1984	10	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0
1984-1989	8	0	0	2	5	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1990-1994	11	1	0	0	9	7	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
1995-1999	22	4	0	4	8	6	0	7	3	0	0	0	0	0	0	0
2000-2004	35	8	0	3	6	5	3	15	2	4	0	0	0	0	0	0
2004-2009	39	12	0	14	10	5	2	9	2	6	0	0	1	1	0	0
2010-2014	47	5	0	10	3	5	5	8	6	1	0	6	2	5	0	0
2015-2017	25	4	0	7	6	4	5	5	1	1	1	4	2	3	0	0

三河湾と同様に高潮災害で甚大な被害を受けていたことから、1950年代より「(3)-13 高潮（台風）」に関する研究がなされてきていたが、1980年代後半～2000年代前半の期間には、これに関する研究論文はほとんどない。近年では、「(3)-11 気候変動」に関する研究とともに、再び、増加傾向にあるようにも見て取ることができる。一方、「(3)-4 流動」および「(3)-5 物質輸送」は継続的に研究が遂行されてきたことがわかる。

「(3)-1 富栄養化」に関する研究は1990年代前半から散見されるようになり、2000年代後半にそのピークを迎える。「(3)-3 貧酸素化」「(3)-7 生物生息環境」に関する研究も、富栄養化に関する研究とほぼ同様な変遷を示す。

表-4には、それぞれの研究の手法ごとに発表論文数を取り纏めたものである。「(4)-1 現地調査・現地観測」が非常に多いことが特徴としてあげられよう。「(4)-3 模型実験・室内実験」も論文数は決して多いとは言えないかもしれないが継続的に実施されてきている。

「(4)-4 数値計算(手法)」は古くから研究手法として用いられており、計算手法の提案がなされていることがわかるとともに、これらを利用した「(4)-5 数値計算(解析)」が積極的に実施されてきたことが窺える。

4.5 有明海の環境研究の変遷

有明海に関する研究論文は、1961年に公表された「有明海の高潮について」⁶²⁾を始めとして、194件が抽出されている。抽出された論文数の推移を図-15に示す。2000年以降、特に、2000年代後半の論文公表数は非常に多い。1997年に諫早湾の堤防締切り以来、2000年の顕著なノリの色落ちや被害総額48億円とも言われる赤潮の発生、2008年の青潮発生など、有明海におけるさまざまな環境問題が表出し、これらの原因究明を目的としてさまざまな機関が調査を行った成果の一部がここに表れていると思われる。

表-5は、有明海に関する研究の対象ごとの論文数の変遷を示したものである。有明海の研究の特徴として特筆すべきは「(3)-4 流動」に関する研究（59件）が多く、次いで、「(3)-9 堆積物の性状」に関する研究（48件）および「(3)-5 物質輸送・拡散」に関する研究（48件）が多いことであろう。これらの研究は、いずれも古くから実施例が見られるものの、2000年以降に顕著な増加が見られる。2000年以降のこれらの研究の増加とともに、「(3)-1 富栄養化」、「(3)-3 貧酸素化」、「(3)-7 生物生息環境」に関する研究も顕著な増加

表-4 研究手法の変遷（大阪湾）

年代	(4)-1	(4)-2	(4)-3	(4)-4	(4)-5	(4)-6	(4)-7
1956-1969	1	0	1	4	1	0	0
1970-1974	0	0	1	0	2	0	0
1975-1979	1	0	0	0	5	0	1
1980-1984	5	0	3	0	2	0	1
1984-1989	2	0	1	1	2	0	3
1990-1994	0	0	2	1	10	0	1
1995-1999	6	3	3	1	7	0	6
2000-2004	26	1	1	2	7	0	2
2004-2009	27	3	8	3	8	0	4
2010-2014	26	6	3	4	14	1	8
2015-2017	13	2	2	4	10	1	4

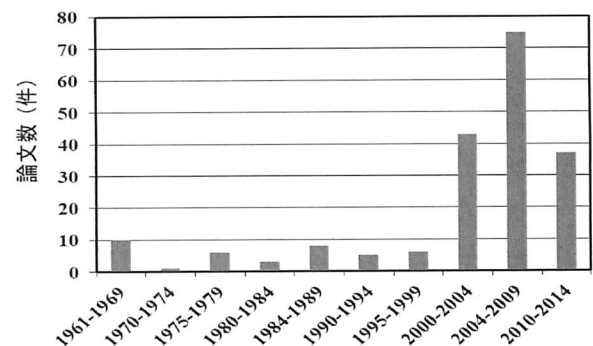


図-15 有明海の環境に関する研究論文数の推移

表-5 研究対象の論文数の変遷（有明海）

年代	論文数	(3)-1	(3)-2	(3)-3	(3)-4	(3)-5	(3)-6	(3)-7	(3)-8	(3)-9	(3)-10	(3)-11	(3)-12	(3)-13	(3)-14	(3)-15
1961-1969	10	0	0	0	2	1	0	0	0	3	1	0	0	3	0	0
1970-1974	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1975-1979	6	0	0	0	3	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
1980-1984	3	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
1984-1989	8	0	0	0	1	2	0	0	1	7	0	0	0	1	0	0
1990-1994	5	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
1995-1999	6	0	0	1	3	0	2	2	0	3	0	0	0	0	2	0
2000-2004	43	2	0	6	22	16	1	7	6	6	0	0	0	3	1	0
2004-2009	75	8	0	12	23	16	0	13	14	16	4	0	0	1	0	1
2010-2014	37	3	0	8	3	8	0	9	2	9	1	1	0	5	0	0

が見られる。

有明海の研究において特徴的な論文をいくつか挙げてみたい。海岸工学の分野において、有明海に関する研究で初めてCODを扱ったのは、大石ら⁶³⁾の論文であろう。初めて干潟を対象として研究成果を公表した論文は、加藤ら⁶⁴⁾による掃流砂を対象とした干潟の地形変形推定手法を開発したものである。また、戸原ら⁶⁵⁾は、拡散現象と海水交換特性との関連性を調査し、初めて「栄養塩」という文言を用いている。

表-6に示すように、有明海の研究においては、現地調査・現地観測という手法を用いた研究が非常に多い。計測機器の進歩が、現地調査・現地観測による研究成果を公表することに大きな役割を果たしていると言える。たとえば、瀬口ら⁶⁶⁾はメモリー型電磁流速計・濁度計を用いて底層の流速と濁度の連続観測を行っている。また、清野ら⁶⁷⁾は小型メモリー式連続計測器(データロガー)を用いて温度・塩分の計測を行っている。このほかにも、水田土壌用Eh計(原田ら⁶⁸⁾)、ナローバンドタイプ超音波流速計(中山ら⁶⁹⁾)、シアー流速計(阿部ら⁷⁰⁾)、超音波式流速プロファイラー(中川ら⁷¹⁾)、赤外線ガスアナライザ(田中ら⁷²⁾)、X線CT装置(山田ら⁷³⁾)をはじめ、多種多様な計測機器や分析装置が沿岸域環境の構造を理解するための調査に役立てられている。

4.6 海岸侵食に関する研究の変遷

海岸侵食に関する研究論文は、1956年に公表された「明石海峡北岸の侵食調査について」⁷⁴⁾を始めとして、主として内海・内湾を研究対象とした136件が抽出されている。図-14に示すように、抽出された論文は、2000年以降に急増している。

海岸侵食に関する研究は、侵食原因・機構に関する研究、侵食予測法に関する研究、侵食対策法に関する研究、モニタリング法に関する研究に大別できる。それぞれの研究ごとに、その変遷の整理を試みている。

4.6.1 侵食の原因・機構に関する研究

高波が来襲すれば砂浜が削られるが、上流から十分な土砂が供給され土砂収支のバランスが取れてさえいれば海岸侵食は発生しない。しかし、土砂供給を遮断するダム建設や港湾・漁港の防波堤建設が増えたこと、コンクリート骨材となる砂利採取が増えたこと、さらには、ダム湖や航路を維持するために浚渫した土砂を土砂移動の下手側へ流さなかったことが主たる

表-6 研究手法の変遷（有明海）

年代	(4)-1	(4)-2	(4)-3	(4)-4	(4)-5	(4)-6	(4)-7
1956-1969	3	0	2	1	0	2	2
1970-1974	0	0	0	1	0	0	0
1975-1979	0	0	1	4	0	1	0
1980-1984	0	0	1	1	1	0	0
1984-1989	3	0	4	1	0	0	0
1990-1994	1	1	4	0	0	0	0
1995-1999	4	0	0	2	1	0	0
2000-2004	22	2	3	2	16	1	7
2004-2009	49	8	6	5	9	0	7
2010-2014	17	2	0	0	12	0	6

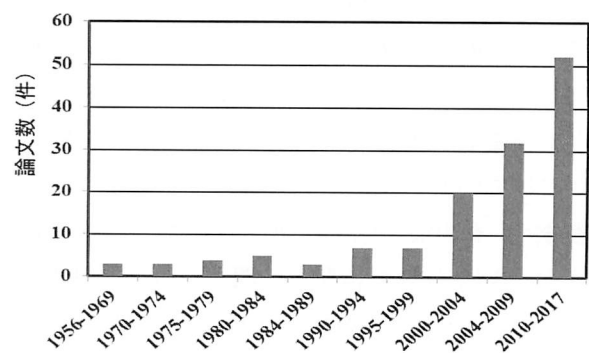


図-16 海岸侵食に関する研究論文数の推移

原因で、高度成長期に海岸侵食が増加した。1960年頃から、波当りの強い外海に面して土砂供給が大幅に減少した大河を有する海岸を対象に報告されるようになった。1980年頃から、侵食していた砂浜海岸や崖海岸に侵食対策工を整備した結果、その土砂移動下手の海岸が侵食されると報告する論文が増加してきた。

内海・内湾においては、外海に比べて波当りが弱いことや湾奥部には早くから埋立地が造成されたことなどから広範囲な侵食が発生しにくかったが、比較的波当りの強い湾口近くでは、大規模河川が少なく内陸からの土砂供給が少ないこと、漁港防波堤などの土砂遮断施設が増えたことなどにより、海岸侵食が徐々に顕在化してきた。ただし、兵庫県明石を中心とした海岸域では、強い潮流に起因する海岸侵食が1950年代から問題化している。各海域の特徴的な研究を以下にいくつか挙げる。

東京湾を対象として研究では、宇多ら⁷⁵⁾が千葉県富津岬での海岸侵食状況を、内山ら⁷⁶⁾が千葉県盤洲干潟の出水期地形変化・漂砂特性を、島谷ら⁷⁷⁾や加藤ら⁷⁸⁾がアマモの侵食防止効果を報告している。伊勢湾では、笹田ら⁷⁹⁾が津松阪港海岸における現地実験によって透水層埋設工法に侵食防止効果のあることを確認している。大阪湾では、石原ら⁸⁰⁾が明石海峡での侵食状況を、井上ら⁸¹⁾が大阪府人工海水浴場の環境を調査している。また、片倉ら⁸²⁾は人工干潟での地形安定化工法の現地実験と生物生息効果の確認を行っている。瀬戸内海においては、小林⁸³⁾が東播海岸での侵食状況を報告しており、出口ら⁸⁴⁾がアマモの生息条件を明らかにしている。有明海では、樋田ら⁸⁵⁾が海砂利採取の海岸侵食に及ぼす影響を、栗山ら⁸⁶⁾が干潟の長期土砂収支について報告している。山田ら^{73), 87), 88)}は熊本県白河河口干潟で継続的に現地観測を実施しており、地上型三次元スキャナーやX線CTなどの新しい計測器を適用している。

4.6.2 侵食予測法に関する研究

水理模型実験による方法は、相似則の問題があるために定性的な予測しかできないが、鉛直二次元水路での実験に対しては伊藤⁸⁹⁾が相似則を提案している。一方、数値計算による方法では、侵食対策工法の本格・試験施工に先んじて侵食防止効果を定量的に評価できるようになってきた。以下にモデルを分類しておく。

(1) 外力として波のみを考慮したモデル

- ・ One-lineモデル：長期的な侵食は沿岸漂砂の流出によるとして、波浪の輸送エネルギーに比例する沿岸漂砂量公式と砂の連続式から汀線変化を予測するモデルで、多くの研究報告がある。
- ・ 等深線変化モデル：実測データに基づく沿岸漂砂の岸沖分布をOne-lineモデルに組込んで等深線変化の長期予測をできるようにしたモデルで複数の研究成果がある。さらに混合粒径の影響を考慮したモデルを提案し、はまぐりの生息分布予測にも適用している研究例もある（熊田ら⁹⁰⁾）。
- ・ 海浜断面モデル：高波来襲時の岸沖漂砂による海浜断面変化（海浜勾配、砂浜高の変化）を、波高・周期を入力パラメータとする経験式によって予測するモデルで、山本ら⁹¹⁾は経験式から岸沖漂砂による汀線変化量の予測式を求めてOne-lineモデルに結び付けた数値モデルを提案している。

(2) 外力に波と海浜流を考慮したモデル

- ・ Radiation Stress評価モデル：波浪変形モデルと海浜流モデルから漂砂量分布を求めて海底変化を予測できるようにした平面二次元モデルで、多数の研究がある。田中ら⁹²⁾は底質分級機構を考慮できる数値モデルを、また、山下ら⁹³⁾はOne-lineモデルに本数値モデルを組込んで沿岸漂砂と岸沖漂砂を考慮した海浜地形変化の予測モデルを提案している。
- ・ Boussinesq方程式モデル：Boussinesq方程式を用いて遡上域も含む流体運動を解くとともに、漂砂量分布を求めてビーチの地形変化を予測できるようにした平面二次元モデルである。横山ら⁹⁴⁾が提案した人工粘性項を使わなくても精度良く地形変化を予測できる数値モデルは、構造物前面洗堀の評価にも適用可能である。池野ら⁹⁵⁾は混合粒径砂を考慮できる地形変化予測モデルを開発している。
- ・ 3次元モデル：波・流の場を三次元で計算して地形変化を予測出来るようにしたモデルで、近年では、

Navier Stokes方程式を解いて流体運動を計算したうえで地形変化を予測するモデルも提案されている。

(3) 堤体からの吸出し量予測モデル

- ・吸出し量算定式：五百蔵ら⁹⁶⁾や山本ら⁹⁷⁾は、三面張り堤防や二面張り護岸からの吸出し量を波高・周期を入力パラメータとする経験式によって予測する方法を提案している。
- ・吸出し量予測数値モデル：DEM-FEMモデルで矢板護岸からの吸出しを、VOF-FEMモデルで捨石式単純護岸からの吸出しを、粒子法でコンクリート護岸からの吸出しを再現しようと試みている研究がある。

(4) 軟岩侵食量予測モデル

- ・流体・弾塑性体ハイブリッドモデル：五十里ら⁹⁸⁾は、流体・弾塑性体ハイブリッド型粒子法に簡易侵食モデルを加えて、海食崖の波浪侵食過程の数値計算モデルを提案している。

4.6.3 侵食対策法に関する研究

(1) 土砂流出防止工

- ・突堤：水理模型実験や侵食予測法にて効果評価が実施されている。
- ・離岸堤：豊島^{98), 100)}が基本的な設計法を提案し、橋本¹⁰¹⁾など多くの研究者が水理模型実験や侵食予測法によってその効果を評価している。
- ・ヘッドランド：土屋ら^{102), 103)}や横山ら¹⁰⁴⁾が平面計画法を紹介しており、水理模型実験や侵食予測法による効果評価事例が複数ある。
- ・人工リーフ：宇多ら¹⁰⁵⁾が侵食防止効果を確認しており、水理模型実験や侵食予測法による効果評価事例が複数ある。

(2) 波力の弱い内海・内湾で有利な土砂流出防止工

- ・アマモ被覆：島谷ら⁷⁷⁾は東京湾における侵食防止効果について報告し、加藤ら¹⁰⁶⁾は侵食防止効果を実験で確認している。出口ら⁸⁴⁾はアマモの生息条件を明らかにした。
- ・人工海藻・海草：菅原ら¹⁰⁷⁾が有効性を示し、伊福ら¹⁰⁸⁾が海底地形変化数値モデルの構築を試みている。
- ・歪み砂れんマット：山口ら¹⁰⁹⁾が本マットに漂砂制御効果のあることを報告している。
- ・フィルター層による海浜安定化：笹田ら¹¹⁰⁾は三重県津松阪港海岸で現地実験を行い、侵食防止効果のあることを確認している。辻本ら¹¹¹⁾も室内実験で同様な効果を確認している。
- ・サンドバック工法：平松ら¹¹²⁾は侵食緩和効果のあることを実験的に示し、サンドバックの安定度を評価する方法を提案している。関口ら¹¹³⁾は実物大実験によってサンドバック袋に発生する張力と外力の関係を明らかにしている。

(3) 土砂の直接的供給法

- ・ダム湖からの放出：黒部川等で実施されているが、明確な成功の報告は無い。
- ・養浜：水理模型実験や数値計算法によって設計・効果評価が可能であり、沖縄での藪下ら¹¹⁴⁾や瀬戸内での榎木ら¹¹⁵⁾による人工海浜調査報告がある。
- ・サンドバイパス：松葉ら¹¹⁶⁾が静岡県福田漁港での成功例を報告している。
- ・サンドリサイクル：宇多ら¹¹⁷⁾が静岡県清水海岸での実施例を報告している。

6.2.4 モニタリング法に関する研究

浅海域では、直接測量（碎波帯内スタッフ水準測量＋浅海域ロッド測量）が可能であるが、水深の深い海域では音響測深器による測量が実施されてきた。また、面的な変化を捉えることを目的として、空中写真の分析法が有効であった。1980年以後には、衛星情報分析、マルチビーム測深、音波探査、サイドスキャン、地中レーダー探査、TL・OSL年代測定法、Webカメラ、UAV（ドローン）など、多くのモニタリング技術が開発・利用されるようになった。

5. おわりに

本稿の趣旨は、土木学会海岸工学論文集に登載された論文に基づいて、土木学会でどのように環境問題に取り組んできたかを顧みようとするものである。したがって、ここに記載している内容のみが土木学会が取り組んできた内容ではないことも、改めて記載しておきたい。

本稿の執筆にあたっては、土木学会のHPを参照して調査研究組織について学ぶことから始めた。筆者の誤認識があるかもしれないことを、改めて記載しておきたい。「4. 海岸工学データベースを活用した環境問題への取り組みの振り返り」の執筆にあたっては、海岸工学委員会沿岸域研究連携推進小委員会の活動を基にしている。この活動には、既に、おおよそ2年を費やしている。各委員が膨大な文献を読みつつ、何度も個票を作り直し、用語の定義の再考を繰り返し、議論を重ねてようやくこの段階に至ったものを記載したつもりではあるが、その内容については必ずしも委員全員の共通認識に至っていないものも含まれていると考えている。また、ここに記載している論文数などの数値はあくまでも現段階における仮値であり、今後、精査・議論を重ねて変化する可能性を多分に含んでいることを、読者の方々には理解いただきたい。

より精緻な分析を進めるとともに、他学会と協働して日本における沿岸域環境史を整理するとともに、今後の沿岸環境研究に尽力したいと、本稿を執筆して改めて感じるに至った。

謝辞

本稿の執筆にあたっては、海岸工学委員会沿岸域研究連携推進小委員会委員の皆様に、大変なご尽力を賜った。心より、お礼を申し上げたい。また、活動の一部は、土木学会関西支部から助成を受けて「比較沿岸環境工学に基づく今後の大阪湾研究に関する調査研究委員会」としての遂行された。ここに記して支援に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 土木学会 (1984) : 創立70周年記念出版 土木学会略史1914-1984, 273 p., (http://www.jsce.or.jp/library/jsce_history/70/jsce70.pdf, 2018年7月7日閲覧)。
- 2) 土木学会水工学委員会環境水理部会内規 (平成23年9月7日制定)
- 3) 柴山知也 (2010) : 海洋開発論文集, 第26巻, 序文。
- 4) 土木学会関西支部 (1954) : 海岸工学研究発表会論文集,
- 5) 半谷高久・御巫清泰・惣谷実 (1967) : 東京湾における汚染について, 第14回海岸工学講演会論文集, pp. 270-279.
- 6) 満田雅男 (1967) : 有明海浮泥の渦面変化への影響について, 第14回海岸工学講演会論文集, pp. 286-289.
- 7) 堀口孝男・石塚修二・横田基紀 (1968) : 湾内における物質の拡散—東京湾の場合—, 第14回海岸工学講演会論文集, pp. 324-330.
- 8) 上村征男・中村充・及万俊文・木村晴保・飯倉敏弘・杉浦正悟・萩野静也・大西亮一 (1974) : 第21回海岸工学講演会論文集, pp. 465-470.
- 9) 土木学会 (1976) : 第23回海岸工学講演会論文集, 607 p., 1976年。
- 10) 土木学会 (1997) : 海岸工学論文集, 第44巻(2), pp. 1301-1302.
- 11) 土木学会海岸工学委員会地球環境問題研究小委員会 (1994) : 地球温暖化の沿岸影響【海面上昇・気候変動の実態・影響・対応戦略】, 221 p., ISBN4-8106-014-7.
- 12) 土木学会海岸工学委員会地球環境問題研究小委員会 (1996) : 沿岸域のあり方—21世紀に向けた海岸工学の課題—, 178 p.
- 13) 土木学会海岸工学委員会地球環境問題研究小委員会 (2000) : 沿岸域における広域環境問題の取り組み。
- 14) 速水頌一郎・宇野木早苗 (1970) : 瀬戸内海における海水の交流と物質の拡散, 第17回海岸工学講演会論文集, pp. 385-394.
- 15) 堀江 毅(1988) : 堆積汚泥の処理による水質底質と生物相の回復効果の予測手法, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 817-821.
- 16) 堀川清司・梶浦二郎・相田勇・長谷直樹 (1964) : 東京湾の潮流に関する実験的研究—潮流実験の相似性について—, 第11回海岸工学講演会講演集, pp. 118-125.
- 17) 尹鍾星・中辻啓二・村岡浩爾 (1993) : 開放性成層水域における吹送密度流に関する研究, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 241-245.
- 18) 中辻啓二・尹鍾星・湯浅泰三・村岡浩爾 (1995) : 東京湾における吹送密度流と青潮発生機構との関連性, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 1066-1070.
- 19) 藤原建紀・佐々倉諭・高橋鉄哉・山田佳昭 (2000) : 東京湾における外洋水の進入深度の算定法とその季節変化, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 431-435.

- 20) 二瓶泰雄・重田京助・伊藤雅人・星野彰成・福田昌洋・加藤靖之 (2009) : 東京湾流入河川における土砂輸送・底質環境特性, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第65巻, pp. 1171-1175.
- 21) 丸谷靖幸・アイヌルアブリズ・中山恵介・仲江川敏之・古川恵太・駒井克昭・鰐目淑範 (2011) : 東京湾における貧酸素水塊の解消要因である強風の将来予測に向けて, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第67巻, pp. 921-925.
- 22) 東博紀・牧秀明 (2012) : 東京湾における貧酸素水塊と鉛直混合強度に関する現地観測, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第68巻, pp. 966-970.
- 23) 東博紀・牧秀明 (2013) : 東京湾における貧酸素水塊と鉛直混合強度に関する現地観測, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第68巻, pp. 966-970.
- 24) 上野成三・灘岡和夫・石村明美・勝井秀博 (1992) : NOAA-AVHRRデータを用いた東京湾の風に起因する湧昇現象の解析, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 256-260.
- 25) 宮崎早苗・八木宏・小倉久子・灘岡和夫 (1995) : 衛星画像解析に基づく東京湾の青潮発生状況把握の試み, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 1076-1080.
- 26) 宮崎早苗・灘岡和夫・八木宏 (1996) : 光学理論に基づく海域内物質濃度の逆推定法, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 1261-1265.
- 27) 八木宏・内山雄介・鯉淵幸生・日向博文・宮崎早苗・灘岡和夫 (1997) : 東京湾湾奥部における成層形成期の水環境特性に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 1076-1080.
- 28) 鯉淵幸生・五明美智男・佐々木淳・磯部雅彦 (2000) : 現地観測に基づく春季の東京湾における赤潮発生機構, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 1071-1075.
- 29) 八木宏・Tanuspong POKAVANICH・安井進・灘岡和夫・有路隆一・松阪省一・鈴木信昭・諸星一信・小田僚子・二瓶泰雄 (2008) : 東京湾湾口部の湧昇現象に伴う湾内貧酸素水塊の中層化とその解消過程, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 1081-1085.
- 30) 中島剛・鈴木弘之・堀江岳人・古川恵太 (2010) : 現地観測による東京湾北西部における貧酸素水塊の回復過程に関する考察, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第66巻, pp. 1041-1045.
- 31) 中川康之・灘岡和夫・八木宏・斎藤衛・小川浩史・有路隆一・米山治男・白井一洋 (2012) : 東京湾奥部における夏期の底層DO濃度変動と波浪擾乱との関係, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第68巻, pp. 991-995.
- 32) 五明美智男・佐々木淳・磯部雅彦 (1998) : 東京湾湾奥の浚渫窪地における湧昇現象の現地観測, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 981-985.
- 33) 梅山元彦・新谷哲也 (2002) : 東京湾湾奥の浚渫窪地から湧昇する有機物の混合・拡散に関しての可視化解析, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1041-1045.
- 34) 佐々木淳・川本慎哉・吉本侑矢・石井光廣・柿野 純 (2007) : 東京湾の青潮に及ぼす平場と浚渫窪地水塊の影響評価, 海岸工学論文集, 第54巻, pp. 1041-1045.
- 35) 田中陽二・有路隆一・諸星一信・鈴木信昭・松坂省一・鈴木高二朗 (2008) : 東京湾における底層水塊の流動と千葉浚渫窪地に与える影響, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 1031-1035.
- 36) 市岡志保・佐々木淳・吉本侑矢・下迫健一郎・木村俊介 (2009) : 航路と浚渫窪地に着目した硫化物動態と青潮影響に関する考察, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第65巻, pp. 1041-1045.
- 37) 佐々木淳・磯部雅彦・渡辺晃・五明美智男 (1993) : 東京湾における貧酸素化現象および水温・溶存酸素の季節変動モデル, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 1051-1055.
- 38) 佐々木淳・磯部雅彦・渡辺晃・五明美智男 (1996) : 東京湾における青潮の発生規模に関する考察, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 1111-1115.
- 39) 塚田光博・三村信男・鈴木雅晴 (1997) : 東京湾における貧酸素水塊の形成・停滞・消滅過程のシミュレーション, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 1086-1090.
- 40) 田中昌宏・Arjen Markus・阪東浩造 (1997) : 青潮の生化学反応を含む数値モデルの開発, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 1096-1100.
- 41) 佐々木淳・今井誠・磯部雅彦 (1997) : 内湾における溶存酸素濃度予測モデル, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 1091-1095.
- 42) 佐々木淳・佐貫宏・磯部雅彦 (1998) : 東京湾における富栄養現象の再現計算, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 1036-1040.
- 43) 佐々木淳・磯部雅彦・藤本英樹 (1999) : 東京湾における青潮簡易予測手法の開発, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 1006-1010.
- 44) 鯉淵幸生・磯部雅彦 (2005) : 2004年の東京湾西岸横浜港周辺における青潮の発生要因, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 896-900.
- 45) 相馬明郎・関口泰之・桑江朝比呂・中村由行 (2008) : 東京湾の底生系における酸素消費メカニズム - 内湾複合生態系モデルの解析 -, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 1206-1210.
- 46) 相馬明郎・桑江朝比呂・関口泰之・中村由行 (2009) : 干潟・浅海域における酸素の生成・消費メカニズム - 生態系モデルによる解析 -, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第65巻, pp. 1146-1150.
- 47) 相馬明郎・関口泰之・桑江朝比呂・中村由行 (2010) : 干潟・浅海域が貧酸素化と生態系バランスに与える影響-モデル解析-, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第66巻, pp. 1146-1150.
- 48) 永尾謙太郎・畑恭子・芳川忍・細田昌広・藤原建紀 (2008) : 水質改善対策の評価を目的とした浮遊系-底生系結合生態系モデルの開発と適用, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 1191-1195.
- 49) 石井光廣・古川恵太・佐々木淳・柿野純・増田修一・小森明裕・桃井幹夫・麻生晃也 (2011) : 東京湾底層DO分布の短期予測システムの水産分野への活用に向けた実証的研究, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第67巻, pp. 1236-1240.
- 50) 佐谷茜・鯉淵幸生・磯部雅彦 (2012) : 3次元流動生態系モデルを用いた複雑地形をもつ都市河川における水環境改善の検討, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第68巻, pp. 1041-1045.
- 51) 鈴木高二朗・磯部雅彦・米山治男 (2012) : 東京湾の海水交換と湾表層流速に及ぼす淡水流入と風の影響, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第68巻, pp. 946-950.
- 52) 濱田準哉・鯉淵幸生 (2013) : 温暖化が東京湾・伊勢湾・大阪湾の貧酸素水塊に与える影響評価, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第69巻, pp. 1126-1130.

- 53) 佐々木 淳・小出摩耶子・長田正行・柴山知也・磯部雅彦 (2003) : 東京湾三番瀬における微細気泡発生装置を用いた青潮水改善効果の数値的検討, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 981-985.
- 54) 田中真史・佐々木淳・柴山知也・磯部雅彦 (2004) : 窪地海域を対象とした微細気泡エアレーションによる貧酸素水改善効果の解析, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 1161-1165.
- 55) 鯉淵幸生・磯部雅彦・佐々木淳・藤田昌史・五明美智男・栗原明夫・田中真史・Mohammad Islam・鈴木俊之 (2004) : 貧酸素水改善に向けた現地微細気泡実験, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 1156-1160.
- 56) 吉本侑矢・佐々木淳・下迫健一郎・木村俊介 (2009) : 浚渫窪地における導水を用いた貧酸素改善に関する検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), 第65巻, pp. 1176-1180.
- 57) 藤田昌史・鯉淵幸生・Udin HASANUDIN・小倉久子・藤江幸一・磯部雅彦 (2003) : 東京湾における水質動態と底質微生物群集構造の解析, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 996-1000.
- 58) 遠藤雅実・鯉淵幸生・藤田昌史・鈴木準平・小倉久子・飯村晃・大畑聡・磯部雅彦 (2010) : 東京湾における底泥酸素消費と微生物群集構造の関係, 土木学会論文集B2(海岸工学), 第66巻, pp. 1036-1040.
- 59) 森麻緒・二瓶泰雄 (2011) : 河川内干潟の二枚貝生態系に対する海域環境インパクトの影響, 土木学会論文集B2(海岸工学), 第67巻, pp. 1101-1105.
- 60) 中島武 (1954) : 台風13号による愛知・三重海岸災害の現状と対策, 第1回海岸工学講演会講演集, pp. 113-130.
- 61) 速水頌一郎・福尾義昭・依田大介 (1956) : 明石海峡における播磨灘と大阪湾との海水交流について, 海岸工学講演会講演集, 第3巻, pp. 49-53.
- 62) 篠原謹爾 (1961) : 有明海の高潮について, 第8回海岸工学講演会講演集, pp. 57-60.
- 63) 大西亮一・白石英彦 (1978) : 有明海における塩分・熱・COD・の移動について一定常数值解析を用いた検討一, 第25回海岸工学講演会論文集, pp. 561-565.
- 64) 加藤一正・田中則男・灘岡和夫 (1979) : 干潟の地形変形予測モデルについて, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 225-229.
- 65) 戸原義男・渡辺潔・加藤治・瀬口昌洋 (1980) : 有明海の潮流と拡散・混合に関する研究一有明海湾奥海域の環境一, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 483-486.
- 66) 瀬口昌洋・渡辺潔・加藤治 (1989) : 有明海奥部浅海域における底層の流れと濁りについて, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 819-823.
- 67) 清野聡子・前田耕作・宇多高明 (2000) : 埋設データロガーによるカブトガニ産卵地および幼生生息地の温度・塩分環境の計測, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 1216-1220.
- 68) 原田浩幸・滝川清 (2000) : 生物攪乱と底泥性状が水質浄化機能に関係する微生物活性に与える影響, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 1131-1135.
- 69) 中山哲蔵・佐伯信哉・時吉学・木元克則 (2003) : 有明海北西部で発生する貧酸素水塊に着目した現地調査, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 976-980.
- 70) 阿部 淳・松永信博・児玉真史・徳永貴久・安田秀一 (2003) : 有明海西部海域における高濁度層の形成と酸素消費過程, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 966-970.
- 71) 中川康之・吉田秀樹・谷川晴一・黒田祐一 (2005) : 潮汐流による底泥の巻き上げ現象のモデル化と浮遊泥量変動の再現, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 441-445.
- 72) 田中健路・滝川清 (2006) : 有明海干潟上における二酸化炭素フラックス観測, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 1136-1140.
- 73) 山田文彦・柴田康晴・原田翔太・外村隆臣・玉置昭夫・尾原祐三 (2007) : 潮間帯干潟の土砂動態と底質環境調査への地上型3次元スキャナーとX線CTの適用, 海岸工学論文集, 第54巻, pp. 1146-1150.
- 74) 石原藤次郎・岩垣雄一・村上正 (1956) : 明石海峡北岸の侵食調査について, 第3回海岸工学講演会講演集, pp. 185-194.
- 75) 宇多高明・神田康嗣 (1995) : 千葉県富津岬の海岸侵食, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 651-655.
- 76) 内山雄介・中島剛・上岡智志 (2001) : 盤洲干潟における河川出水時の地形変化と漂砂特性について, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 531-535.
- 77) 島谷学・河本武・中瀬浩太・月舘真理雄 (2003) : アマモ実生株の生残条件に関する研究, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 1096-1100.
- 78) 加藤大・島谷学・柴山知也 (2005) : アマモ群落における底質輸送機構と底質安定性向上効果について, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 1001-1005.
- 79) 笹田彰・村上裕幸・長谷川準三・柳嶋慎一・栗山善昭 (2004) : 透水層埋設と養浜の組合せ工法による海浜安定の現地実証実験, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 601-605.
- 80) 石原藤次郎・岩垣雄一・村上正 (1956) : 明石海峡北岸の侵食調査について, 第3回海岸工学講演会講演集, pp. 185-194.
- 81) 井上雅夫・島田広昭 (1990) : 大阪府下における人工海水浴場の環境と情報に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 883-887.
- 82) 片倉徳男・高山百合子・上野成三・勝井秀博・林文慶・田中昌宏・新保裕美・古川恵太・岡田知也 (2006) : 人工干潟の地形安定化工法に関する現地実験一阪南2区干潟創造実験一, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 1216-1220.
- 83) 小林嘉造 (1957) : 東播海岸の侵食について, 第4回海岸工学講演会講演集, pp. 225-234.
- 84) 出口一郎・三宅亮志・岩田公司・芳田利春・荒木進歩 (2005) : ライフサイクルを考慮したアマモの生息条件に関する研究, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 1011-1015.
- 85) 樋田操・松永信博・宗方鉄生・小松利光 (1991) : 九州における海砂採取の現状と沿岸環境に及ぼす影響調査, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 916-920.
- 86) 栗山善昭・滝川清・榎園光廣・野村茂・橋本孝治・柴田貴徳 (2003) : 熊本白川河口干潟における土砂収支の検討, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 556-560.
- 87) 山田文彦・小林信久・柿木哲哉 (2003) : 地形パラメータを用いた干潟断面の季節変動の要因分析, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 551-555.
- 88) 山田文彦・柴田康晴・田端優憲・玉置昭夫 (2008) : 潮間帯干潟上の砂漣の時空間変動特性と底質内部の保水領域

の季節変動特性, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 791-795.

- 89) 伊藤政博 (1982) : 二次元模型実験による現地海浜変形の再現性に関する研究, 第29回海岸工学講演会論文集, pp. 309-313.
- 90) 熊田貴之・宇多高明・芹沢真澄 (2007) : チョウセンハマグリが生息分布の予測モデル, 海岸工学論文集, 第54巻, pp. 1201-1205.
- 91) 山本吉道・堀川清司 (1992) : 岸沖漂砂を考慮した汀線変化の予測法, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 406-410.
- 92) 田中仁・吉竹豊尚・首藤伸夫 (1989) : 波・流れ共存場における底質分級の数値計算, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 264-268.
- 93) 山下隆男・土屋義人・熊谷隆宏 (1991) : 安定海浜の形成の数値シミュレーション, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 391-395.
- 94) 横山嘉夫・田辺勇人・中西勝利・加藤史訓・山本吉道・有村盾一 (2002) : ヘッドランド工法の設計手引き (案) の検討とその適用, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 936-940.
- 95) 池野正明・清水隆夫・小林英次 (2002) : 粒径別浮遊・掃流漂砂モデルを用いた混合粒径砂大型岸沖海浜変形実験の再現, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 466-470.
- 96) 五百蔵政文・山本吉道・大嶋義隆 (2014) : 高波による海岸堤防前面下端からの裏込材吸出量予測法の一般化, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第70巻, 2号, pp. 1031-1035.
- 97) 山本吉道・五百蔵政文・大嶋義隆 (2015) : 海岸堤防・護岸の破壊機構と吸出し量の評価法, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第71巻, 1号, pp. 30-41.
- 98) 五十里洋行・後藤仁志・新井智之 (2010) : 海食崖の侵食過程の計算力学のための流体・弾塑性体ハイブリッドモデルの構築, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第66巻, pp. 916-920.
- 99) 豊島修 (1968) : 離岸堤工法について, 第15回海岸工学講演会講演集, pp. 169-174.
- 100) 豊島修 (1971) : 離岸堤工法の設計指針, 第18回海岸工学講演会論文集, pp. 155-160.
- 101) 橋本宏 (1974) : 離岸堤による隣接海岸への影響予測モデル, 第21回海岸工学講演会論文集, pp. 181-186.
- 102) 土屋義人・芝野照夫・十河耕一 (1978) : Pocket beachの平面形状について, 第25回海岸工学講演会論文集, pp. 209-212.
- 103) 土屋義人・R. Silvester・芝野照夫 (1979) : 安定海浜工法による海岸侵食制御について, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 191-194.
- 104) 横山嘉夫・田辺勇人・中西勝利・加藤史訓・山本吉道・有村盾一 (2002) : ヘッドランド工法の設計手引き (案) の検討とその適用, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 936-940.
- 105) 宇多高明・田中茂信・筒井保博 (1984) : 人工リーフによる波浪と漂砂の制御, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 340-344.
- 106) 加藤大・島谷学・柴山知也 (2005) : アマモ群落における底質輸送機構と底質安定性向上効果について, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 1001-1005.
- 107) 菅原一晃・永井紀彦 (1992) : 波による堤体前面の洗掘・海岸侵食に対する人工海草の防止効果, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 461-465.
- 108) 伊福誠・岩田充浩・米澤泰雄・坂田則彦 (1994) : 人工海藻周辺の流れと漂砂, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 566-570.
- 109) 山口洋・小野信幸・入江功・申承鎬・村瀬芳満 (2002) : 歪み砂れんマットによる3次元漂砂制御に関する実験, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 621-625.
- 110) 笹田彰・村上裕幸・長谷川準三・柳嶋慎一・栗山善昭 (2004) : 透水層埋設と養浜の組合せ工法による海浜安定の現地実証実験, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 601-605.
- 111) 辻本剛三・細山田得三・大西剛史・柿木哲哉・宇野宏司 (2007) : フィルター層を有する人工海浜断面の可逆性に着目した安全性に関する研究, 海岸工学論文集, 第54巻, pp. 616-620.
- 112) 平松遥奈・佐藤慎司 (2010) : サンドバック潜堤の安定性と海岸侵食緩和機能, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第66巻, pp. 656-660.
- 113) 関口陽高・諏訪義雄・野口賢二・渡邊国広・嶋田宏・三浦健吾 (2011) : 袋詰め工の袋材に働く張力に関する実物大模型実験, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第67巻, pp. 826-830.
- 114) 藪下孝雄・中村俊彦 (1976) : 沖縄国際海洋博覧会における人工海浜の設計と施工, 第23回海岸工学講演会論文集, pp. 591-597.
- 115) 榎木亨・出口一郎 (1985) : 特性の異なる2つの海岸に施工された人工養浜砂の挙動について, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 420-424.
- 116) 松葉義直・佐藤慎司・波多野景治 (2016) : 静岡県福田浅羽海岸サンドバイパス吐出口周辺におけるUAVを用いた地形変化監視手法の適用, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第72巻, pp. 853-858.
- 117) 宇多高明・佐藤雅史・栗田貴男・三宅由衣・石川仁憲・花田昌幸 (2017) : 三保松原砂嘴先端部の地形変化機構とサンドリサイクル時の地形変化, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第73巻, pp. 715-720.