海生研研報，第17号，1－56，2013
Rep. Mar. Ecol. Res. Inst., No. 17, 1-56, 2013

原著論文

火力・原子力発電所の環境影響評価に係る海域生態系影響予測手順の提案

三浦正治[*1§]・山田裕[*2]・野村浩貴[*2]
道津光生[*3]・太田雅隆[*3]・清野通康[*2]

A Procedure for Estimating the Impact of Thermal and Nuclear Power Plants on Marine Ecosystems in the Environmental Impact Assessment

Masaharu Miura[*1§], Hiroshi Yamada[*2], Hirotaka Nomura[*2],
Kosei Dotsu[*3], Masataka Ohta[*3] and Michiyasu Kiyono[*2]

要約：飛行場建設や公有水面埋立事業等の環境影響評価では，海域生態系について調査がなされ，影響予測の事例も増加している。一方，発電所環境影響評価においては，海域生態系は複雑かつ未解明な部分も多いことを理由に，明確な調査・予測の手法が示されていない。本報告では，発電所環境影響評価のうち，方法書や準備書の作成段階で海域生態系の調査・予測が求められた場合に必要となる影響予測の手法について，基本的な考え方等からなる予測手順，ならびにモデル海域に仮想発電所を想定して影響予測を実施したケーススタディをとりまとめて手順案として示した。

キーワード：環境影響評価，発電所，海域生態系

Abstract: For the environmental impact assessment of airport construction or public water area reclamation, both terrestrial and marine ecosystems have been investigated and the number of impact estimations has increased. Since marine ecosystems however are complicated and contain many unknown factors, no definite method has been developed to estimate the environmental impact of a power plant on marine ecosystems. When investigating and estimating the environmental impact that a power plant has on marine ecosystems, it is necessary to develop an assessment method of preparation for the scoping documents and the draft environmental impact statements. To develop that method, the present study summarized a general concept, which consisted of basic ideas and specific information from case studies in which environmental estimation was performed on the assumption that a power plant was constructed in a model sea area. The summarized results were proposed as a marine ecosystem impact assessment procedure.

Key words: environmental impact assessment, power plant, marine ecosystems

（2013年２月５日受付，2013年３月27日受理）
＊1　公益財団法人海洋生物環境研究所　実証試験場（〒945-0017 新潟県柏崎市荒浜4-7-17）
§　E-mail: miura@kaiseiken.or.jp
＊2　公益財団法人海洋生物環境研究所　事務局（〒162-0801 東京都新宿区山吹町347藤和江戸川橋ビル7階）
＊3　公益財団法人海洋生物環境研究所　中央研究所（〒299-5105 千葉県夷隅郡御宿町岩和田300）

火力・原子力発電所の環境影響評価に係る海域生態系影響予測手順案

目　次

まえがき…………………………………… 2
概要……………………………………… 3
Ⅰ．予測手順………………………………… 4
　1．海域生態系影響予測の基本的な考え方……… 4
　　1）海域生態系の特性…………………… 4
　　2）発電所立地による海域環境影響の特性…… 4
　　3）環境影響評価の特性………………… 4
　　4）本手順案における海域生態系影響予測の考え方…………………………… 4
　2．手順案の適用範囲……………………… 5
　3．発電所海域生態系影響予測の手順………… 6
　　1）対象海域の特性を整理する（方法書段階）‥ 6
　　2）予測項目（候補）を選定する（方法書段階）・ 7
　　3）調査・予測の手法を選定する（方法書段階）・ 8
　　4）対象海域の特性を再整理する（準備書段階）・10
　　5）予測項目を選定する（準備書段階）……… 10
　　6）予測する（準備書段階）……………… 10
　　7）留意事項…………………………… 12
Ⅱ．ケーススタディ…………………………… 12
　1．藻場のある海域………………………… 12
　　1）対象海域の特性（方法書段階）………… 12
　　2）予測項目（候補）の選定（方法書段階）… 13
　　3）調査・予測の手法（方法書段階）……… 13
　　4）対象海域の特性再整理（準備書段階）…… 15
　　5）予測項目（準備書段階）……………… 17
　　6）予測方法と結果（準備書段階）………… 18
　　7）技術資料：藻場影響予測手法…………… 25
　2．干潟のある海域………………………… 28
　　1）対象海域の特性（方法書段階）………… 28
　　2）予測項目（候補）の選定（方法書段階）… 29
　　3）調査・予測の手法（方法書段階）……… 29
　　4）対象海域の特性再整理（準備書段階）…… 31
　　5）予測項目（準備書段階）……………… 32
　　6）予測方法と結果（準備書段階）………… 34
　　7）技術資料：注目種のSIモデル ………… 42
　3．サンゴが生息する海域…………………… 43
　　1）対象海域の特性（方法書段階）………… 43
　　2）予測項目（候補）の選定（方法書段階）… 45
　　3）調査・予測の手法（方法書段階）……… 45
　　4）対象海域の特性再整理（準備書段階）…… 46
　　5）予測項目（準備書段階）……………… 49
　　6）予測方法と結果（準備書段階）………… 49
　　7）技術資料：多様度指数について………… 52
あとがき…………………………………… 54
謝辞……………………………………… 55
引用文献…………………………………… 55

まえがき

我が国においては，環境影響評価法は平成9年に制定され，平成23年にその一部が改正された。法改正ではこれまでの方法書，準備書，評価書に加え，事業実施段階前の手続きとして配慮書の作成，環境保全措置等の結果等を公表するための報告書の作成がそれぞれ義務づけられるなど，環境影響評価の手続きは高度化しつつある。

環境影響評価法の対象事業には，道路，ダム，鉄道，空港，発電所，廃棄物最終処分場，公有水面埋立，土地区画整理事業等があり，環境省はこれら事業の環境影響評価について，主務大臣が定めるべき指針に関する基本的事項（以下，基本的事項と記す）を定めている。これに沿って主務官庁は事業実施により影響を受けるおそれがある環境要素に係る項目（以下，参考項目と記す）や，その調査，予測及び評価の手法等を整理して省令を定めることとなる。環境影響評価法の改正に伴い，環境省の基本的事項も平成24年に改正され，主務官庁が定める省令も改正されつつあり，平成25年には全面的に施行される予定である。

基本的事項には別表として環境要素の区分が示されている。その中の「生物の多様性の確保及び自然環境の体系的保全」には小区分として「植物」，「動物」，「生態系」の項目が定められている。この中の「生態系」について，改正された基本的事項では配慮書段階にあたる「計画段階配慮事項等選定指針に関する基本的事項」に，藻場，干潟，サンゴ群集，自然海岸等，人為的な改変をほとんど受けていない自然環境や，一度改変すると回復が困難な脆弱な自然環境について「自然環境のまとまりを場として把握し，これらに対する影響の程度を把握するものとする」とされている。一方，方法書や準備書段階にあたる「環境影響評価等選定指針に関する基本的事項」には，法改正前と同じく，「生態系に区分される選定項目については、地域を特徴づける生態系に関し，ア（植物及び動

物）の調査結果等により概括的に把握される生態系の特性に応じて，生態系の上位に位置するという上位性，当該生態系の特徴をよく現すという典型性及び特殊な環境等を指標するという特殊性の視点から，注目される生物種等を複数選び，これらの生態，他の生物種との相互関係及び生息・生育環境の状態を調査し，これらに対する影響の程度を把握する方法その他の適切に生態系への影響を把握する方法によるものとする」とされている。

配慮書段階での生態系の予測については今後の実施状況を注視する必要があるが，法改正前から実施されている方法書，準備書段階での生態系の調査・予測についてはすでに多くの事例があり，海域における生態系（以下，海域生態系と記す）についても調査・予測の事例が増加している。一方，発電所の環境影響評価においては，温排水等他の事業にはない影響要因があり，また海域は陸域と異なり，生態系を構成する生物や環境が複雑に関係し，かつ未解明な部分も多いという理由から，「発電所に係る環境影響評価の手引き（経済産業省原子力安全・保安院，平成19年1月改訂）」では，海域生態系について明確な調査・予測手法が示されていない。そのため，我々は発電所環境影響評価における方法書や準備書段階における海域生態系の調査・予測手法について基本的な考え方等を整理し，発電所立地が海域生態系に与える影響を予測する際の手順案を作成した。今後は配慮書等，改正環境影響評価法への対応も必要となり，発電所に係る環境影響評価においても，海域生態系への調査・予測が求められる場合が増加するのではないかと思われる。

なお本手順案は，海洋生物環境研究所が経済産業省から受託した「発電所生態系調査手法検討調査」及び「発電所生態系予測手法検討調査」の事業成果をとりまとめたもの（海生研，2012）に，さらに検討を重ねて作成したものである。とりまとめに関しては委託事業の検討委員各位をはじめ多くの方々に貴重なご意見を頂いた。ここに，関係各位，関係諸団体にお礼を申し上げる。

概　要

火力・原子力発電所の環境影響評価に係る海域生態系影響予測手順案（以下手順案と記す）は，予測手順とケーススタディから構成されている。

予測手順の作成にあたっては，省令や地方公共団体の条例，指針，ガイドライン等に示された海域生態系の調査・予測手法や海域の調査に係る各種マニュアル等を精査するとともに，実際の空港建設や埋立事業，沿岸道路建設等の環境影響評価にみられる調査・予測事例，またそれらに対する市民等意見等を参考とした。さらに学会等での生物多様性や生態系サービス等に関する議論も参考にした。

予測手順は「海域生態系影響予測の基本的な考え方」，「手順案の適用範囲」，「発電所海域生態系影響予測の手順」からなる。「海域生態系影響予測の基本的な考え方」では，海域生態系の特性，発電所立地による海域環境影響の特性についてそれぞれ整理したほか，環境影響評価の現実的な対応や海域生態系影響予測の考え方も示した。「手順案の適用範囲」は，発電所環境影響評価のうち，方法書，準備書段階における生態系項目の海域部分とし，影響要因としては地形改変及び施設の存在，ならびに施設の稼働（温排水）とした。これは海域に生息する動物や海域に生育する植物の項目においても，それぞれ対象とされている影響要因である（経済産業省原子力安全・保安院，2007）。「発電所海域生態系影響予測の手順」は方法書段階と準備書段階に分けて整理した。方法書段階では対象海域の特性を整理した後，予測項目の候補を選定し，調査・予測の手法を整理することとした。準備書段階では現地調査等の結果から，対象海域の特性を再整理し，必要があれば予測項目を見直して，注目種・群集の分布等に与える影響を予測することとした。

机上で検討した予測手順について，実際の環境影響評価への適用性を検討するためケーススタディを実施した。「藻場のある海域」として長崎県の志々伎湾海域，「干潟のある海域」として大分県の豊後高田海域，「サンゴが生息する海域」として高知県の竜串湾海域をそれぞれモデル海域として選定し，当該海域に関する既往知見調査や現地調査を実施するとともに，仮想の発電所を設定してその影響予測を実施した。これらケーススタディを通して見えてくる調査・予測の実施に関する現実的な問題点も考慮して，予測手順の基本的な考え方等を再検討して手順案をとりまとめた。なお，それぞれのケーススタディは，予測手順に示した「発電所海域生態系影響予測の手順」に従ってとりまとめ，その中で使用した予測方法等は技術資料として各章末に記載した。

Ⅰ．予測手順

１．海域生態系影響予測の基本的な考え方

（要旨）

海域生態系の特性，発電所立地による海域環境影響の特性及び環境影響評価における現実的な対応の必要性から判断して，海域生態系影響を予測する際には，対象となる海域生態系の構造，機能等の特性を整理した上で，その生態系の特徴をよく表し，影響を受けると想定される注目種・群集について，植物，動物等，他の調査，予測の結果を最大限利用し，必要事項を予測することを第一義とする。

（解説）

海域生態系を考慮した発電所環境影響調査を実施するにあたっては，海域生態系を把握するとともに，発電所立地による物理・化学的環境変化を予測し，その上でそれに伴う海域生態系の変化を予測して，さらにその変化を科学的，社会的な観点から評価するという大きな流れが考えられる。この考え方の流れは特に海域に特徴的なものではないが，ここで留意すべきことは，海域生態系の特性が陸域生態系のそれとは異なること，発電所立地という行為に伴う物理・化学的環境変化の特性が陸域の場合と異なる部分があるということである。したがって，ここでは海域生態系の特性と発電所立地による環境影響の特性について基本的な認識を示すとともに，海域生態系を把握する方法について基本的な考え方を示す。

１）海域生態系の特性

発電所立地が想定される沿岸海域には，磯浜や砂浜，岩礁などの海岸があり，河口や干潟，藻場，サンゴ礁がある場合もある。また様々な動植物プランクトン，海藻草類，底生生物，魚類，甲殻類など多様な生物が生息しており，その相互関係も複雑である。南北に長い日本列島では，生物分布は地理的あるいは内湾，外海といった地形的な相違を反映するが，ある地点一つをとっても，海底基質や，水深，水質等の環境要素に応じて生物分布は異なる。

見方を変えると沿岸海域は陸域と海洋との接点ということができ，沿岸海域の生態系はその両者から常に影響を受けており，季節変化や台風，地球温暖化等の影響も受ける。環境要素も複雑に関係しており，流況の変化が温度変化や水質，底質の変化をもたらす場合もある。また植物プランクトンを始めとして，生物の変化が激しいことも沿岸海域生態系の特徴である。この様な特徴を有するため，沿岸海域においては，事業影響だけを捉えることが難しい場合も多い。また沿岸海域の生態系は河川や湖と異なり，ひとつの系として他の系と明瞭に区別できないため，空間スケールを定めることが難しく，調査すべき範囲の設定や予測結果の評価において，議論が分かれる事も多い。

２）発電所立地による海域環境影響の特性

火力・原子力発電所の建設にあたっては，敷地造成や海岸構造物の設置等による地形変化を伴うことがあり，また冷却用水を取水して温排水を放水する場合が多い。これらの行為によって，場の消滅・変化，流況の変化，水温の変化等が起こるが，環境要素が相互に影響するため，水質，底質等，他の環境要素が変化する可能性もある。このような発電所立地に伴う環境変化を生ずる範囲は，発電所規模や地形的な違い，取放水方式の違いにもよるが，これまでの例からみると概ね発電所から数km程度の範囲である。

一方，日本の周辺沿岸域では，水産業が営まれているところがほとんどであり，発電所立地にあたっては，特に海水を冷却用水として用いる場合は漁業対象生物への影響が問題にされることもある。

３）環境影響評価の特性

環境影響評価では環境保全に適正な配慮がなされることを確保するために，事業者は決められた手続きに沿って方法書，準備書，評価書等を作成することとなっている。その過程で，事業者は市民や県知事，国等の意見，疑問に対して説明する責任がある。また調査，予測には地質，大気，水環境，生物等，幅広く高度な専門性が要求される。一方，事業者には環境影響評価にかけることのできる時間や予算に制約があるが，その中で事業者には実行可能な範囲で最適な手法を選択し，調査，予測を実施することが求められる。海域生態系の調査，予測においても事業者が実行可能な現実的な手法を検討することが必要である。

４）本手順案における海域生態系影響予測の考え方

生態系に対する人為的な行為の影響予測は，理想的には，対象生態系の構造や機能の全体像を捉えたうえでなされるべきである。しかし，前述したように多様で複雑な構造を有し，自然変動も激

しい海域生態系において，構造，機能の全貌や詳細を把握し影響を予測することは，環境影響評価における様々な課題や時間的，予算的制約を考慮すると現実的とはいえない。

海域生態系への影響予測では，流況や水質，動物，植物等，他の調査，予測の結果を利用し，対象となる海域生態系の構造，機能等の概略的な整理をした上で，その生態系の特徴を代表すると考えられ，人為的な行為に対して影響を受けると想定される要素や機能に着目して調査，予測することが現実的である。

ここで生態系の要素とは生物だけに限ったものではないが，基本的には生物を取り上げるべきと考えられる。海の生物の生活は海の中ならどこでも実現されるというわけではなく，生物はその場の無機的，有機的な環境を反映して存在している。言いかえれば，生物はその生態系の特徴を最もよく示した要素であり，その生物は適切な環境条件無しには生息できない。ただし，単一の種（個体群）を中心とする観点だけでは，生態系を部分的にしかとらえることができない。このため，生活型や生息域，生物相互関係等を考慮して，複数の注目される生物種，群集を選定するなどの配慮が必要である。

海域生態系を把握する手法として，生物を生産者，消費者，分解者に分類して生態系の構造をとらえ，生態系内・外での物質循環やエネルギーフローを把握することも考えられる。この手法では個々の生物や生物の多様性に対する議論が欠如しがちになるものの，生態系の物質量やエネルギーフローといった大枠についての理解を深める上では有用である。しかしながら発電所立地の空間スケール，影響特性，現実的な制約等を考慮すると，大枠としての物質循環やエネルギーフローの変化を予測することは現実的ではないと考えられる。

生態系の機能に着目し，対象海域の特徴を表す機能等の変化を直接予測するという考え方もある。汚染の進んだ内湾等で，注目される生物種や群集を決定するよりも，むしろ物質循環等を直接予測した方が有効な場合もあり得る。しかしながら，対象とする生態系の機能について評価軸が定まっていない場合，たとえそれが重要な概念を有する機能であったとしても，発電所環境影響評価の空間スケールにおいては評価や判断ができない事態が予想されるので，注意が必要である。

これらのことより，本手順案においては，発電所立地が海域生態系に及ぼす影響を予測するためには，対象海域生態系の構造や機能等の特性を把握した上で，その生態系を代表する注目種・群集について必要事項を予測することを第一義とし，海域特性や市民意見等を考慮した上で必要と判断される場合には，生態系の機能等を予測することもあり得るという基本的な考え方を提示する。

２．手順案の適用範囲

（要旨）

本手順案の適用範囲は，発電所環境影響評価のうち，方法書，準備書段階における「生態系」項目の海域部分であるが，海域の生態系を予測するためには水質や底質，動物，植物など，他の項目も参照する必要がある。また予測項目を選定するにあたっては，対象海域の特性が把握されている必要がある。

（解説）

発電所の環境影響評価に関する省令「発電所の設置又は変更の工事の事業に係る環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査，予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針，環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令（平成十年六月十二日通商産業省令第五十四号）（最終改正：平成二四年七月三一日経済産業省令第五七号）」の別表二（火力発電所関係）や別表三（原子力発電所関係）では，動物，植物項目については陸域と海域が分けて示されており，参考項目が明記されているが，海域の生態系については明記されていない。また，発電所に係る環境影響評価の手引き（経済産業省原子力安全・保安院，平成19年1月改訂）では，火力発電所や原子力発電所に係る参考項目の設定根拠について「海域の生態系については種の多様性や種々の環境要素が複雑に関与し，未解明な部分もあることから，参考項目として設定しない」とされている。

本手順案の適用範囲は，発電所環境影響評価の内，方法書，準備書段階にあり，環境要素の区分としては大区分「生物の多様性の確保及び自然環境の体系的保全を旨として調査，予測及び評価されるべき環境要素」の中区分「生態系」項目の海域部分である。影響要因としては「土地又は工作物の存在及び供用」の内「地形改変及び施設の存在」と「施設の稼働（温排水）」とした。これは特に影響が大きいと判断される影響要因であること，地方公共団体が定めた技術指針等にみられる生態系への影響要因でもあること，の理由による。またこれら影響要因は前述の手

引き書（経済産業省原子力安全・保安院，2007）の「海域に生息する動物」「海域に生育する植物」それぞれにおいても対象とされている。

海域においては地形や海水流動等の条件により，環境要素や生物の分布も異なるため，海域の生態系に及ぼす影響を予測するためには，地形，流況，水質，底質等の環境要素，動物，植物の情報も必要となる。また，本手順案では，海域生態系の基本的な予測手法として予測項目（注目される種・群集や必要に応じて生態系の機能）を選定して予測作業を実施することとしているが，予測項目を選定するためには，対象海域の環境要素や生息する生物など，海域の特性を把握しておく必要がある。

３．発電所海域生態系影響予測の手順

（要旨）

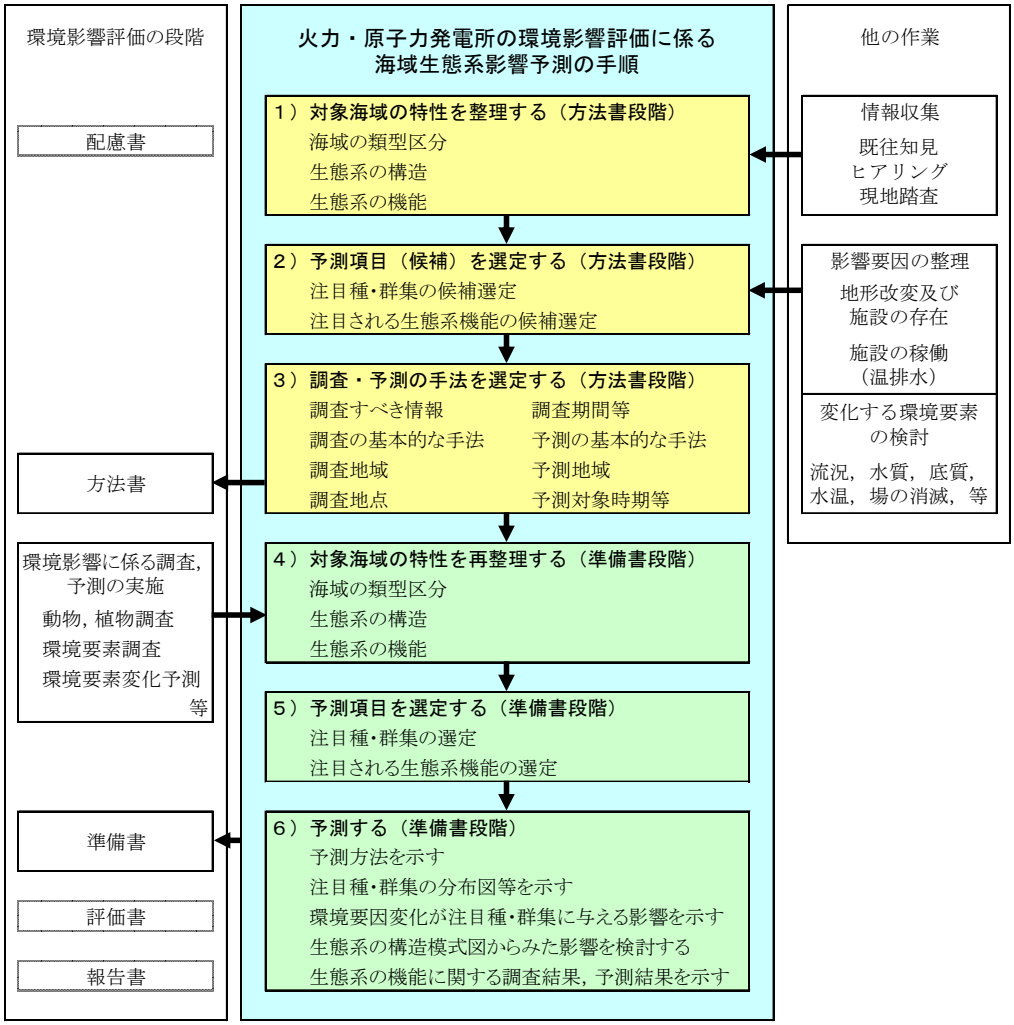
発電所立地が海域生態系に及ぼす影響を予測するためには，対象海域の特性について整理し，影響要因を考慮した上で予測項目を選定する。方法書段階では情報が少ないため予測項目は候補と位置づけ，準備書段階において現地調査等の結果から予測項目を確定する（第１図）。予測項目として注目種・群集を選定する際には，特殊なケースを除き，対象海域の特性をよく表す典型的な種・群集であり，影響を受けるおそれがあるものを，原則として複数選定する。

（解説）

火力・原子力発電所の環境影響評価に係わる海域生態系影響予測の手順（以下，手順と記す）を示した第1図では，手順の左側に環境影響評価の段階を，右側にはその他の作業を並べて示した。以下に手順の各項目について解説する。

１）対象海域の特性を整理する（方法書段階）

対象海域の特性を整理するため，海域の類型区分，生態系の構造，機能それぞれについて概略的



第１図　火力・原子力発電所の環境影響評価に係る海域生態系影響予測の手順

第１表　海域類型の着眼点と分類（例）

	海域類型の着眼点の例					
	地形	波浪・流況	基質	場	生物	その他
分類の例	外海 内海 内湾 等	波あたりの強弱 流れの強弱 等	砂泥 転石 岩礁 人工基質 等	河口 藻場 干潟 サンゴ礁 港湾 等	海藻草類 底生生物 潮間帯生物 遊泳生物 浮遊生物 等	漁場・保護域の有無 自然海岸の割合 富栄養化の程度 等

に示す。

(1) 海域の類型区分

既往知見等の情報収集により，地形，波浪，流況，基質等の環境要素及び生息する生物の特徴等から海域を類型区分する。その際の着眼点及び分類の例については第1表に示した。なお第1表で示した分類は大まかな分類であり，例えば藻場については，コンブ場，アラメ場，ホンダワラ場，アマモ場等に細分化することも可能である。また，その他として漁場，保護域等を示したが，これらについては，予測項目の選定のみならず，現地調査の可能性や調査結果の検討にとっても重要であるので，あらかじめ把握しておく必要がある。

方法書段階では，海底基質や生物の分布等について十分な情報が得られていない場合が想定され，海域類型を正確な図として示すことができないこともある。そのような場合には，その旨を明記して，概略図または表を作成する。

(2) 生態系の構造

対象海域の特性や類型区分された水域の特性を理解するために，生態系の構造を整理する必要がある。そのためには生態系の構造模式図を作成することが考えられる。構造模式図が対象海域の特性をよく現していれば，ある要素への影響が他の要素へどのように波及するか，定性的な考察をすることができる。構造模式図は予測項目である注目種・群集を絞り込むため，あるいは注目種・群集の選定理由を示すためにも有効である。しかし，構造模式図は概念図であること，情報の多寡により記載する生物等の要素が多くも少なくもなること，特に方法書段階では情報が少ないこと等の理由から，適切な構造模式図の作成が困難な場合がある。そのため方法書段階では，生態系の構造模式図は概略的な図とし，生態系の構造のどこに着目するか，その理由は何か等を示すことが重要である。

(3) 生態系の機能

予測項目の候補を選定するために，対象海域が有すると考えられる生態系の機能を整理しておく必要がある。生態系の機能については，機能を発揮する対象（水質，大気質，生物，人の生活等）や時空間スケール，また考察する人によっても捉え方や表現が異なる。ここでは海域における生態系の機能の例として第2表に示した。なお，生物多様性に関しては，生態系の多様性，種の多様性，遺伝子の多様性の3レベルがあるとされるが，生態系の多様性とは，森林，河川，湿原，干潟，サンゴ礁などと自然を分類した際の多様性であり，これは発電所環境影響評価の空間スケールよりも大きな空間スケールで考えられる場合も多い。方法書段階では海域類型も確定しておらず，生息する生物も十分には把握できていないことも想定されるが，対象海域生態系の機能を概略的に記載することは可能と考えられる。

２）予測項目（候補）を選定する（方法書段階）

対象海域の特性を根拠として，予測項目（候補）を選定する。

(1) 注目種・群集の候補選定

予測項目としての注目種・群集の選定は，影響を予測する手順において最も重要な作業であり慎重になされるべきである。本手順案では，方法書

第２表　海域において想定される生態系の機能（例）

大分類	小分類
物質循環に係わる機能	海水交換 水質浄化 酸素供給 有機物生産
生息場としての機能	産卵場 育成場 索餌場 避難場
生物多様性の維持機能	生態系の多様性の維持 種多様性の維持 遺伝的多様性の維持
その他	食料生産 自然災害の防護 社会・文化的な場の提供

段階では注目種・群集の候補を提示し，準備書段階において注目種・群集を決定することを推奨している。これは，方法書で示された注目種・群集が現地調査において確認されないなどの事態が過去の事例から予想されるためであり，本手順案では，生息していない注目種・群集を予測対象とすることは好ましくないと考える。しかし，方法書で提示された注目種・群集と準備書で決定された注目種・群集が全く異なるものであっては，方法書を作成する意義も低下するし，現地調査等も非効率的となる。これを避けるためには，方法書作成前の情報収集（第1図，他の作業）を十分に実施することが重要であり，その手段としては，既往知見整理，専門家や現地に詳しい有識者からのヒアリングが考えられるが，現地踏査も有効である。また，方法書段階では予測対象となる注目種・群集の候補を提示せずに準備書段階で選定する方策も考えられるが，予測対象によって調査方法も変わることを考えると，合理的な調査，予測の観点から勧められる方策ではない。

環境省が定めた環境影響評価法に基づく「基本的事項」では，動物・植物の調査結果から注目される生物種等を上位性，典型性，特殊性の視点から選定するとされている。第3表に海域生態系の調査・予測が実施された環境影響評価において選定された注目種・群集を示した。

対象海域の特性をよく現している種を上位性，典型性，特殊性の視点から選定することもひとつの方法であるが，海域の生態系及び発電所影響特性を考慮した場合に，必ずしも適切とはいえない場合も想定される。特に上位性については注意が必要である。陸域において上位種として選定される猛禽類は個体数が少なく，営巣地の特定，個体の観察，個体レベルでの餌場の特定もでき，事業実施区域や影響範囲との重なりも分析可能である。一方海域においては，例えばスズキ *Lateolabrax japonicus* では個体数も多く，個体レベルでの餌場や活動範囲を特定することは容易ではなく，多くの場合，スズキの個体群あるいは種としての広域な分布が推定されるにとどまる。ある上位種の分布範囲と事業実施範囲や影響範囲を単純に比較して影響を予測する手法は，海域においては望ましくない。ただし，上位種について，その産卵場や索餌場，幼稚魚の生息場等が対象海域のある特定域に存在する，あるいは極端に個体数が少ないなどの特殊なケースにおいてはこの限りではない。

第3表において典型性の注目種・群集としては，海藻草類や貝類，造礁サンゴ類，ゴカイ類，エビ・カニ類，魚類等が選定されている。これらの内，特に海藻草類，貝類，造礁サンゴ等は生活史の段階にもよるが，一般に移動性が小さく発電所の建設稼働によって影響を受ける可能性が想定される生物である。特殊性の注目種・群集としてアユ *Plecoglossus altivelis*，ウナギ*Anguilla japonica* 等が選定されているが，その他に，干潟域に生息するムツゴロウ*Boleophthalmus pectinirostris*，シオマネキ*Uca arcuata* 等，分布が限定される種が選定されており，これらは海域の特性をよく現している典型的な種として選定することも可能である。また，対象海域に特殊な環境はないとして特殊性の視点から注目種・群集を選定していない事例も少なくない。

以上のことから，本手順案では，予測項目としての注目種・群集は，原則として，対象海域の特性をよく表している典型的な種・群集であり，かつ発電所の影響要因によって影響を受ける可能性が想定されるものとする。なお，予測項目としての注目種・群集を選定する際に候補に上がる種については，動物項目，植物項目における予測対象種（重要な種，主な種等）ともなり得るので，予測評価の項目間での調整が必要となる場合がある。

(2) 注目される生態系機能の候補選定

藻場や干潟のある海域，サンゴ群集が生息する海域等においては，生物の生息場としての機能や水質の浄化機能などの調査・予測が求められる場合がある。対象海域の有する生態系の機能が発電所立地によって損なわれる可能性が想定される場合に，必要に応じて，予測項目として生態系の機能を選定する。

３）調査・予測の手法を選定する（方法書段階）

調査・予測の手法について，その概要を以下に示した。なおここでは注目種・群集を予測項目とした場合を標準的な手法として示した。

(1) 調査すべき情報

- 動植物その他の自然環境に係る概況。
- 注目種・群集の選定理由，生態，他の動植物との関係，生息環境もしくは生育環境の状況，分布等の状況。

(2) 調査の基本的な手法

・文献その他の資料及び必要に応じ現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析。

(3) 調査地域

・対象事業実施区域及びその周辺区域。

(4) 調査地点

・注目種・群集の特性を踏まえ，注目種・群集の生息又は生育環境に係る環境影響を予測し，評価するために適切かつ効果的な地点又は経路。

(5) 調査期間等

・注目種・群集の特性を踏まえ，注目種・群集の生息又は生育環境に係る環境影響を予測し，評価するために適切かつ効果的な期間，時期及び時間帯。

第 3 表　海域生態系の調査・予測が実施された環境影響評価において選定された注目種・群集

環境影響評価書等	注目種・群集		
	上位性	典型性	特殊性
中部国際空港建設事業及び空港島地域開発用地埋立造成事業に関する環境影響評価書（中部国際空港株式会社・愛知県，1999）	カワウ，イシガレイ，スズキ，サッパ	アマモ，バカガイ	（選定なし）
大阪港新島地区埋立事業及び大阪沖埋立処分場建設事業に係る環境影響評価書（大阪市・大阪湾広域臨海環境整備センター，1999）	スズキ	マコガレイ，ヨシエビ	アユ，ウナギ，モクズガニ
中城湾港（泡瀬地区）公有水面埋立事業に係る環境影響評価書（沖縄開発庁沖縄総合事務局，2000）	干潟を採餌場とする鳥類（ダイサギ，コサギ等），魚食性鳥類（ミサゴ，コアジサシ等）	干潟に定住する魚類（トカゲハゼ，トビハゼ，ミナミトビハゼ等），稚魚期に干潟・浅場を生息場とする魚類（イソフエフキ，アミアイゴ，キビナゴ等），干潟に広く分布し上位種の餌料となる底生動物（ヒメヤマトオサガニ，イボウミニナ，ヘナタリガイ，コメツキガニ，ゴカイ類等），藻場を形成する海草類（リュウキュウアマモ，ボウバアマモ，リュウキュウスガモ，ウミジグサ等），サンゴ礁を形成する造礁サンゴ類（ショウガサンゴ，ヤッコアミメサンゴ，塊状浜サンゴ類等），サンゴ礁を生息場とする動物（スズメダイ類，ブダイ類，ベラ類，ナガウニ，ナマコ類等）	（選定なし）
徳島飛行場拡張整備事業及び徳島空港周辺整備事業に係る環境影響評価書（運輸省・運輸省第三港湾建設局・徳島県，2000）	スズキ，カレイ類（オオシタビラメ，イヌノシタ，マコガレイ等）	ヒメスナホリムシ	（選定なし）
八代港公有水面埋立事業に関する環境影響評価準備書（熊本県，2001）	カサゴ，マアナゴ，ヒラメ，イシガレイ	マクサ，アヤニシキ，アカモク	（選定なし）
与那国空港拡張整備事業に係る環境影響評価書（沖縄県，2002）	イシガキハタ，カンモンハタ	造礁サンゴ類	ヒメジャコ，シラナミ
新石垣空港整備事業に係る環境影響評価書（沖縄県，2005）	メギス，カンモンハタ，コトヒキ	リュウキュウスガモ，アオサンゴ，ユビエダハマサンゴ，アミアイゴ，ハゲブダイ	（選定なし）
一般国道444号佐賀福富道路（有明海沿岸道路）環境影響評価書（佐賀県，2006）	ハヤブサ，大型サギ類，ミサゴ	カモ類，シギ・チドリ類，メナダ	エツ，ムツゴロウ，ハゼクチ，シオマネキ，ヨシ群落，塩性植物群落
東京国際空港再拡張事業に係る環境影響評価書（国交省関東地方整備局・国交省東京航空局2006）	スズキ，カワウ	ゴカイ類，アサリ，マハゼ，アユ，塩沼植物群落，ハマシギ	（選定なし）
水島港（玉島地区）公有水面埋立事業に係る環境影響評価（岡山県，2006）	スズキ，イシガニ，ガザミ，カサゴ	コノシロ，サッパ，シズクガイ，イワフジツボ	アユ，ウナギ，モクズガニ
新門司南地区公有水面埋立事業環境影響評価書（北九州市，2007）	ミサゴ	シャコ，マガキ，オサガニ類（ヤマトオサガニ，オサガニ）	（選定なし）
北九州市都市計画道路6号線整備事業（門司区新門司三丁目～小倉南区大字朽網）環境影響評価準備書（北九州市，2010）	ミサゴ	マガキ，オサガニ類（ヤマトオサガニ，オサガニ），陸ガモ類	塩性植物
普天間飛行場代替施設建設事業に係る環境影響評価書（沖縄防衛局，2011）	生態系項目ではインベントリー調査が主。対象海域を干潟生態系，海草藻場生態系，サンゴ礁生態系等に分類し，出現生物，構造図を整理。定量的には埋立により消滅するアマモ場，サンゴ類を予測している。上位・典型・特殊の観点から注目種を直接予測するという手法とは異なる。生態系とは別にジュゴン，サンゴ類，海藻草類等の調査，予測を実施しており，これらを注目される種・群集と捉えて生態系調査予測の参考とすることも可能である。		

(6) 予測の基本的な手法

・注目種・群集について，分布又は生息もしくは生育環境の改変の程度を把握した上で，事例の引用又は解析。

(7) 予測地域

・調査地域のうち，注目種・群集の特性を踏まえ，注目種・群集の生息又は生育環境に係る環境影響を受けるおそれがある地域。

(8) 予測対象時期等

・注目種・群集の特性を踏まえ，注目種・群集の生息又は生育環境に係る環境影響を的確に把握できる時期。

４）対象海域の特性を再整理する（準備書段階）

対象海域の特性を整理することについては方法書段階でも示したが，準備書段階では現地調査等により得られた情報を用いて海域の特性を再整理し，予測項目を選定するための根拠を準備する。

(1) 海域の類型区分

海域の類型区分については，現地調査等の結果を用いて再整理し，類型区分図を作成する。類型区分図は対象海域の地図上に示し，同時に発電所立地点等も示す。類型区分図が複雑な場合には，別途，海底基質（岩礁，礫，砂泥，等）や生物の分布図等を分けて示す。また類型区分図に対応して，各類型に出現する主な生物種や群集等について表等を用いて解説する。生物調査は調査方法が調査場所（例えば岩礁域，砂泥域）により異なることも多いため，海域全体の生物の分布特性に関する説明は定性的な表現になることもあるが，予測項目としての注目種・群集を絞り込むためには重要な作業である。また生物の調査では多くの生物種がリストアップされるが，ここでは海域特性の概要が理解されやすいよう，単なる生物リストではなく，海藻草類，底生動物，魚等の遊泳動物等を取り上げて，その生育・生息状況を説明する。また既往知見等から，可能であればそれら生物の近年の変化等を説明する。

(2) 生態系の構造

予測項目選定のもう一つの根拠として，生態系の構造模式図を示す。前述の類型区分図では海域の概要は理解できるが，生物の相互関係等を示すことができない。その意味で生態系の構造模式図があれば，なぜ予測項目として着目するのかを説明しやすくなる。構造模式図については方法書段階で作成されている場合もあるが，必要に応じて，現地調査の結果等を用いて再整理する。なお，発電所立地が構造模式図上ではどの部分に影響すると想定されるか，説明する。

(3) 生態系の機能

予測項目選定の根拠を示す方法として，生態系の機能面から説明することも考えられる。生態系の機能については方法書の段階でも整理されているが，必要があれば現地調査の結果等を用いて再整理する。なお，この場合に発電所立地がどの機能に影響すると想定されるかを説明する。

５）予測項目を選定する（準備書段階）

方法書段階で選定された予測項目候補を，前項「４）対象海域の特性を再整理する（準備書段階）」を参考に検討し，必要があれば見直して，予測項目を決定する。

(1) 注目種・群集の選定

注目種・群集は，方法書段階で選定された注目種・群集の候補を必要があれば見直して決定する。この際，選定した理由を示す必要がある。理由の説明には対象海域の特性を再整理した結果を用いる。

(2) 注目される生態系の機能を選定

注目される生態系の機能は，必要があれば注目種・群集と同様に見直す。この際，選定した理由については対象海域の特性を再整理した結果を用いる。

６）予測する（準備書段階）

予測の過程と予測方法を示した上で，注目種・群集の分布等と環境要素の変化とを重ね合わせて発電所の立地影響を予測する。

(1) 予測方法を示す

予測方法では，予測の過程と具体的な予測方法を示す必要がある。

【予測の過程】

発電所の影響要因は，環境要素の変化を通して予測対象に影響を及ぼす。海域生態系の特徴として，環境要素間の関係が複雑であることが多いため，影響の伝わる過程について整理し，どの過程を考慮して予測するのかを示す必要がある。予測の過程を示すことは，一般市民に対して理解を求める性格を有する環境影響評価にあっては重要と考えられるし，予測の限界等を明らかにするためにも役立つ。

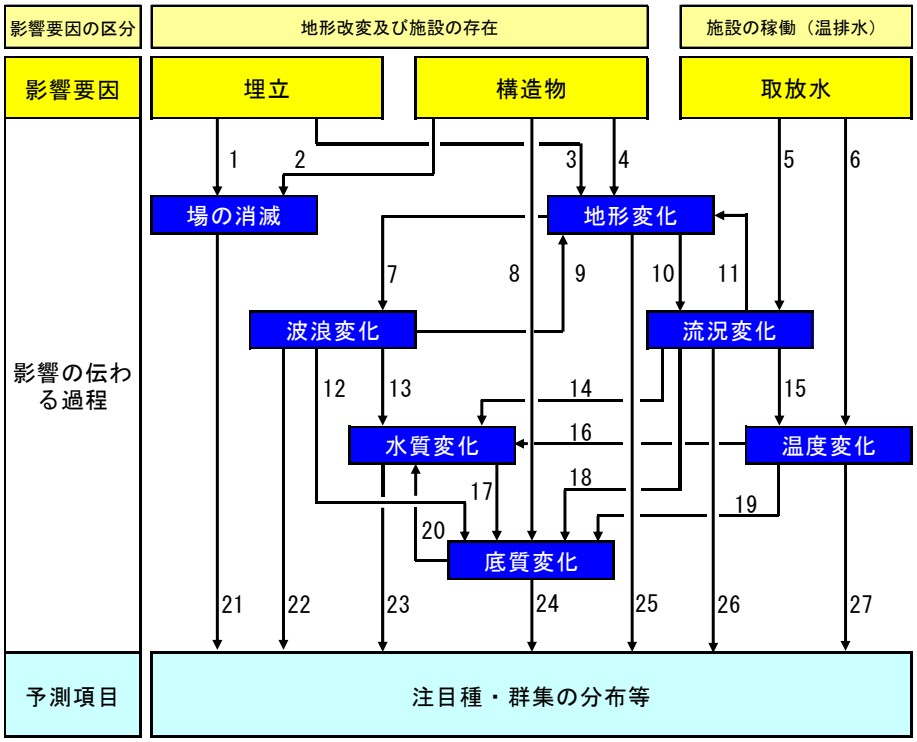
影響要因が海域の環境要素を変化させ，海域の

注目種・群集や生態系の機能にどのような過程を経て影響するか，その考え方の例を第2図に示した。ここでは影響要因の区分として地形改変及び施設の存在，施設の稼働（温排水）を同時に扱っている。従来の環境影響評価においては影響要因の区分ごとに予測評価がなされる場合が多いが，海域生態系において着目する注目種の分布などは空間的な広がりを持つため，複数の環境要素の変化を異なる場所または同じ場所で同時に受けることが想定される。例えば「対象海域にはアラメ場があり，その一部は防波堤等による波浪環境の変化の影響を受け，他の一部は温排水による昇温影響を受ける」ということが起こりうる。そのため，ここではそれぞれの影響要因を同時に扱うこととした。なお，影響要因が単一で，影響の伝わる過程も複雑でないと判断される場合（例えば埋立影響のみの場合など）には，それに応じた予測の過程を示せばよく，複雑な図は必要ない。

埋立や構造物（防波堤等）の設置は海域という場の消滅をもたらし（第2図1,2，以下，図中の番号のみ略記する），これは直接注目種・群集の分布や生態系の機能に影響する（21）。また埋立や構造物は地形の変化を伴い（3，4），地形変化は直接注目種・群集の分布等に影響する（25）他，波浪（7）や流況（10）を変化させる。波浪変化や流況変化は，周辺の砂泥域の地形を変化させる（9，11）こともあるが，水質変化（13，14）や底質変化にも波及する（12，18）。水質変化は底質変化ももたらすが（17），底質変化は水質変化にフィードバックすることも考えられる（20）。波浪変化，流況変化，水質変化，底質変化は，それぞれ注目種・群集の分布や生態系に影響すると考えられる（22，26，23，24）。また，構造物が直接底質を変化させることもある（8）。発電所の取放水は流況や海水の温度を直接変化させ（5，6），流況変化により海水温が変化することも考えられる（15）。温度変化は直接海域の生物に影響するし（27），水質変化や底質変化を経て（16，19），注目種・群集の分布等に影響する（24）ことも考えられる。

【予測方法】

予測の方法は注目種・群集の分布等と環境要素の変化範囲を重ね合わせて分析する。環境要素と注目種・群集との間に関係性が認められ，数値モデル化されている場合は定量的な予測が可能であるが，注目種・群集の生態的な情報が少なく，環境要素との関係をモデル化することが困難と判断される場合には，事例等の引用から定性的に予測する。



第２図　影響要因から予測項目に影響が及ぶ過程（例）

(2) 注目種・群集の分布図等を示す

予測方法で述べたように，注目種・群集の分布等と環境要素の変化を重ね合わせて予測するために，注目種・群集の分布図等を示す。注目種・群集の分布等が航空写真等を用いて明確に作図できる場合は問題ないが，正確な生物分布図等を作図できない場合も多い。そのような場合であっても，測線調査等の結果から，注目種と海底基質との関係，水深との関係等を分析し，分布等の推定図を作成する。

(3) 環境要素変化が注目生物・群集に与える影響を示す

注目種・群集の分布等と環境要素の変化を重ね合わせ，注目種・群集に与える影響の程度と範囲を示す。実際の環境影響評価においては，環境要素が変化する範囲等については該当する項目ですでに示されているが，必要に応じて，環境要素の変化の程度，範囲を概略図等として添えると理解されやすい。

(4) 生態系の構造模式図からみた影響を検討する

注目種・群集に影響が予測された場合には，構造模式図を用いて影響の波及を検討し，必要があれば二次的な影響予測を行う。

(5) 生態系の機能に関する調査結果，予測結果を示す

生態系の機能について調査，予測を実施した場合には，それらの結果を示す。

7）留意事項

予測結果は用いるデータや予測する時期等の前提条件に大きく左右されるので，これらを整理しておく必要がある。また，予測には仮定が含まれ，予測結果は不確実性を伴うものであるため，それらの限界や問題点を整理しておく必要もある。

住民や学会等の意見では，定量的な予測を望む声も多い。客観的な予測とするためには，科学的，技術的に可能な範囲で定量的な予測に努める必要がある。特に環境要素の変化予測については定量的な予測が必要である。生物に関しては，定量的な予測が困難な場合も多いが，影響を受ける分布面積等，できるだけ定量化を試みる必要がある。

Ⅱ．ケーススタディ

ケーススタディの概要は第4表に示した。ケーススタディは，主に机上検討で作成した予測手順の現実的な適用性を検討するために実施したものであり，この過程で得られた問題点やその解決法等は，先に示した手順案の基本的な考え方や影響予測の手順に反映されている。ケーススタディは手順案の第1図に示した火力・原子力発電所の環境影響評価に係る海域生態系影響予測の手順に沿ってとりまとめてあるが，海域生態系予測の手順に主眼を置いているため，流況や動植物その他の自然環境に係る概況等の調査結果や予測結果の詳細については省略してある。また，現実的な問題点や留意事項，今後の課題等も含めて記載してある。そのため，ケーススタディは実際の環境影響評価における海域生態系影響予測の手本ではない。手順案に示した考え方や影響予測手順の具体例として，ケーススタディを参照し，実際の環境影響評価に活用されることが望まれる。

1．藻場のある海域

1）対象海域の特性（方法書段階）

対象とした志々伎湾海域の特性について，海域

第4表　ケーススタディの概要

項目		藻場のある海域 （長崎県志々伎湾海域）	干潟のある海域 （大分県豊後高田海域）	サンゴが生息する海域 （高知県竜串湾海域）
仮想発電所の影響要因		埋立 防波堤の設置 温排水（40m^3/秒×2，表層放水，7℃上昇）	埋立 防波堤の設置 温排水（25m^3/秒×2，表層放水，7℃上昇）	埋立 温排水（25m^3/秒×2，表層放水，7℃上昇）
海域生態系影響の予測のために考慮した要因		場の消滅，底質，水深，波浪，流れ，水温	場の消滅，底質，水深，波浪，流れ，水温，水質， 砂の移動	場の消滅，底質，水深，波浪，流れ，水温
海域生態系影響の予測項目 （準備書段階）	注目種・群集	海藻草類：アマモ，アカモク，ヤツマタモク，ノコギリモク，アラメ，ワカメ 藻場：岩礁性の藻場，砂泥性の藻場 魚類：マダイ，メバル類	海藻類：オゴノリ，セイヨウオゴノリ 魚類：アオギス 貝類：マテガイ 甲殻類：コメツキガニ 多毛類：ムギワラムシ	サンゴ：造礁サンゴ類，シコロサンゴ 魚類：ソラスズメダイ，トゲチョウチョウウオ
	生態系の機能	魚類の生息場機能	底生生物の水質浄化機能	魚類の多様性を支える機能

の類型区分，生態系の構造，生態系の機能の観点から整理した。

(1) 海域の類型区分

志々伎湾海域の類型区分について，水域，海底基質，藻場の有無の観点から整理した（第5表）。岩礁域にはアラメ*Eisenia bicyclis*，ホンダワラ類を主要な構成種とする岩礁性の藻場があり，湾内の砂泥域にはアマモ場があるが，岩礁域と砂泥域のいずれも，大型の海藻草類が生育していない場所もある。

(2) 生態系の構造

対象海域の生態系の構造について，概略的に第3図に示した。対象海域では光や栄養塩類の供給により植物プランクトンが増殖し，それを餌として動物プランクトンが増殖する。この動物プランクトンは稚魚の餌となる。一方，藻場は葉上・葉間に生息する動物に生息空間や餌を提供し，これらの動物も稚魚の餌となる。また海藻草類は直接あるいはデトリタスを経て貝類，多毛類等，底生動物の餌となり，底生動物も魚類の餌となる。さらに藻場は魚類の隠れ家やアオリイカ*Sepioteuthis lessoniana* 等の産卵場にもなる。

対象海域の動植物プランクトンも生態系の重要な要素であるが，これらは対象海域内外での出入りが大きく変化も激しい要素であるため，仮想発電所の影響よりも気象や海象等の影響を受けやすいと考えられる。一方，他の生物の生息基盤とも考えられる藻場は，環境要素に影響を受けながら対象海域内に存在しており，仮想発電所の影響要因（埋立，防波堤の設置，温排水の放水）に由来する環境要素の変化を受けやすい。これらの理由から対象海域の生態系の構造と仮想発電所影響の両面を考慮して,藻場に着目すべきと考えられる。

(3) 生態系の機能

第6表に，一般的に考えられる海域生態系の機能と対象海域の生態系の機能を対応させて示した。

２）予測項目（候補）の選定（方法書段階）

(1) 注目種・群集の候補選定

海域特性及び仮想発電所の影響を考慮して，第7表に予測対象となる注目種・群集を示した。

(2) 注目される生態系機能の候補選定

生態系の機能については，藻場が他の生物を生息させる機能を有すること，仮想発電所立地により藻場を含む岩礁域や砂泥域の一部が消失することを考慮し，対象海域全体の生息場機能に着目する。

３）調査・予測の手法（方法書段階）

方法書には海域生態系だけでなく，「海域に生息する動物」や「海域に生育する植物」等の項目についても調査・予測の手法を記載する。ここでは他の調査項目についてはすでに記載されているものと仮定して，海域生態系の調査・予測手法のみを記載した。

(1) 調査すべき情報

調査すべき情報は，動植物その他の自然環境に係る概況，複数の注目種・群集（アマモ*Zostera marina*，アラメ，ワカメ*Undaria pinnatifida*，ホンダワラ類，マダイ*Pagrus major*，メバル類，ウニ類，アワビ類，サザエ*Turbo (Batillus) cornutus* ）の生態，他の動植物との関係，生息環境もしくは生育環境の状況，分布等の状況とする。

(2) 調査の基本的な手法

調査の基本的な手法は，文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析とする。

【文献その他の資料調査】

文献その他の資料収集及び必要に応じて注目種・群集等に関する専門家へのヒアリングを実施し，当該情報を整理，解析する。

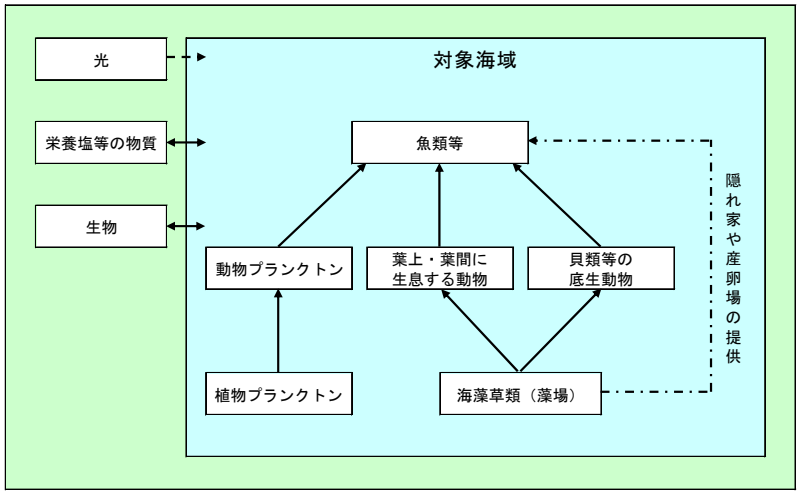
【現地調査】

①アマモ，アラメ，ワカメ，ホンダワラ類，藻場

植物及び藻場の調査結果を参照するが，対象生物の分布を推定するため，必要に応じ補完的に調

第５表　志々伎湾海域の類型区分（方法書段階）

水域	海底基質	藻場の有無	備考
湾外	岩礁	藻場が有る場所と無い場所がある	藻場にはアラメ，ホンダワラ類が生育
	砂泥	藻場なし	
湾内	岩礁	藻場が有る場所と無い場所がある	藻場にはアラメ，ホンダワラ類が生育
	砂泥	藻場が有る場所と無い場所がある	アマモが生育
漁港域	人工護岸 砂泥	藻場なし 藻場なし	護岸の一部にホンダワラ類が生育



第 3 図　志々伎湾海域の生態系の構造模式図（方法書段階）

対象海域生態系で想定される主な生物の関係及び対象海域内外での光，物質，生物の関係を示した。

第 6 表　志々伎湾海域の生態系の機能（方法書段階）

一般的に考えられる海域生態系の機能		対象海域の生態系の機能
大項目	小項目	
物質循環に係わる機能	海水交換，水質浄化，酸素供給，有機物生産	志々伎湾では湾外の海水が湾口西から湾内へ流入し，湾口東へ流出する傾向があり，これに伴う渦流が湾内にみられる。この流れはマダイ卵仔稚の移入着底に寄与していると考えられている。岩礁域の一部にはムラサキイガイ等が生息しているため，水質浄化に寄与していると考えられる。藻場の海藻草類や植物プランクトン等は光合成により酸素を供給している。海藻草類の成長や植物プランクトンの増殖は有機物生産であり，動物の餌ともなる。
生息場としての機能	産卵場，育成場，索餌場，避難場	対象海域の岩礁域や砂泥域は海藻草類，魚類，貝類等海生生物の生息場となっており，特に藻場はアオリイカ等の産卵場やメバル類稚魚等の生育場，索餌場ともなっていると考えられる。既往知見によればマダイ卵は湾外で産卵されるが，海流によって湾内へ移流し，稚魚は湾中央部に着底する。その後湾内の砂泥域が稚魚の成育場となっている。
生物多様性の維持機能	種多様性，遺伝的多様性の維持	対象海域には岩礁域，砂泥域，漁港等があり，それぞれの環境に応じた生物が生息していると考えられ，種の多様性を支える機能があると考えられる。遺伝的な多様性についての情報は現段階では得られていない。
その他の機能	食料生産	対象海域ではイサキやマダイ，カワハギ等が漁獲されており，食料生産を支える機能があると考えられる。
	社会・文化的な場の提供	対象海域で行われている漁業や遊漁，自然体験学習等は社会・文化的な場の提供と考えることができる。

第 7 表　志々伎湾海域の注目種・群集の候補と選定理由（方法書段階）

注目種・群集の候補	選定理由
海藻草類 アマモ，アラメ，ワカメ，ホンダワラ類 藻場	対象海域には砂泥域と岩礁域があり，砂泥域にはアマモ場，岩礁域にはアラメ場，ホンダワラ場が存在する。これら藻場は，他生物（葉上動物や底生生物，魚類等）の生息を支え，生態系の機能のひとつである生息場機能を有していると考えられる。そのため藻場への影響は他生物の生息にも波及する可能性がある。また藻場を構成する海藻草類の分布や生育状況は基質や水深，水温，波浪等の環境要因と関係があると考えられ，仮想発電所立地がこれら環境要因を変化させることにより，海藻草類や藻場に影響を及ぼすことが想定される。これらの理由により，海藻草類，藻場を注目種・群集の候補として選定した。
魚類等遊泳動物 マダイ，メバル類	対象海域には，多種の魚類が生息すると考えられるが，砂泥域に生息するマダイ稚魚や岩礁域に生息するメバル類稚魚は，それぞれ場への依存性が高いと考えられる。仮想発電所立地がこれら稚魚の生息場の環境に変化を与えることにより，稚魚の分布や生息に影響を及ぼすことが想定される。これらの理由により，マダイ，メバル類を注目種の候補として選定した。
底生動物 ウニ類，アワビ類，サザエ	対象海域には，多種の底生動物が生息すると考えられるが，ウニ類やアワビ類，サザエは岩礁域に生息する特徴を有する生物であり，場への依存性が高いと考えられる。仮想発電所立地がこれら生物の生息場の環境に変化を与えることにより，これら生物の分布や生息に影響することが想定される。これらの理由により，ウニ類，アワビ類，サザエを注目種の候補として選定した。

査点を設け，潜水目視観察を実施し，位置，水深，底質，対象生物の生育の有無を把握する。

②マダイ，メバル類

動物の調査結果を参照するが，対象生物の分布を推定するため，マダイ稚魚は桁網調査，メバル類稚魚は潜水目視観察を実施し，位置，水深，底質，生育している海藻草類，対象生物の有無を把握する。

③ウニ類，アワビ類，サザエ

動物の調査結果を参照するが，前述メバル類の目視観察時に合わせて対象生物の有無を把握する。

(3) 調査地域

調査地域は対象事業実施区域及びその周辺区域とする。

(4) 調査地点

調査地点は，注目種・群集の特性を踏まえ，それらの生息又は生育環境に係る環境影響を予測し，評価するために適切かつ効果的な地点又は経路とする。

【現地調査】

①アマモ，アラメ，ワカメ，ホンダワラ類，藻場

植物の調査測線に同じ。なお補完的な調査点は植物項目の調査測線の間に設ける。

②マダイ，メバル類

動物の調査地点に同じ。なおマダイ稚魚分布を推定するための桁網調査は，湾奥から湾口にかけての砂泥域で実施する。またメバル類稚魚の潜水目視調査は，藻場に加え大型の海藻草類がみられない地点においても実施する。

③ウニ類，アワビ類，サザエ

動物の調査地点及びメバル類の調査地点に同じ。

(5) 調査期間等

調査期間等は，注目種・群集の候補の特性を踏まえ，それらの生息又は生育環境に係る環境影響を予測し，評価するために適切かつ効果的な期間，時期及び時間帯とする。

【現地調査】

①アマモ，アラメ，ワカメ，ホンダワラ類，藻場

植物の調査に同じ。

②マダイ，メバル類

基本的には動物の調査に同じであるが，マダイの桁網調査についてはマダイ稚魚が出現すると予想される５，６月に実施する。メバル類稚魚の潜水目視調査は，海藻草類の繁茂，衰退時期を参考として春季と秋季に実施する。

③ウニ類，アワビ類，サザエ

動物及びメバル類の調査に同じ。

(6) 予測の基本的な手法

注目種・群集の候補について，分布または生息もしくは生育環境の改変の程度を把握した上で，事例の引用又は解析を行う。解析の場合は注目種・群集の分布と環境要素の変化域を重ね合わせて，影響の程度と面積を予測する。なお生物の生息場機能については，注目種・群集への影響予測結果を用いて，定性的に予測する。

(7) 予測地域

注目種・群集候補の特性を踏まえ，それらの生息又は生育環境に係る影響を受けるおそれがある地域とする。

(8) 予測対象時期等

仮想発電所の建設等が完成し定常運転となった時点とし，注目種・群集の生息又は生育環境に係る環境影響を的確に把握できる時期とする。

４）対象海域の特性再整理（準備書段階）

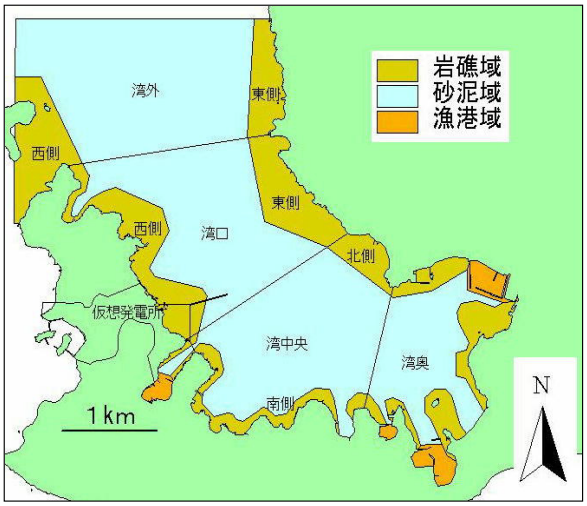
対象海域の特性については，海域の類型区分，生態系の構造，機能の観点から整理した。

(1) 海域の類型区分

第4図に対象海域の類型区分図を示した。海域類型には水域区分（湾外，湾口，等）と海底基質の状況を用いた。第8表に対象海域の類型区分と生息する生物の特徴等を示した。

(2) 生態系の構造

対象海域の生態系の構造について，概略的に第5図に示した。そこでは光や栄養塩類の供給により植物プランクトンが増殖し，植物プランクトン



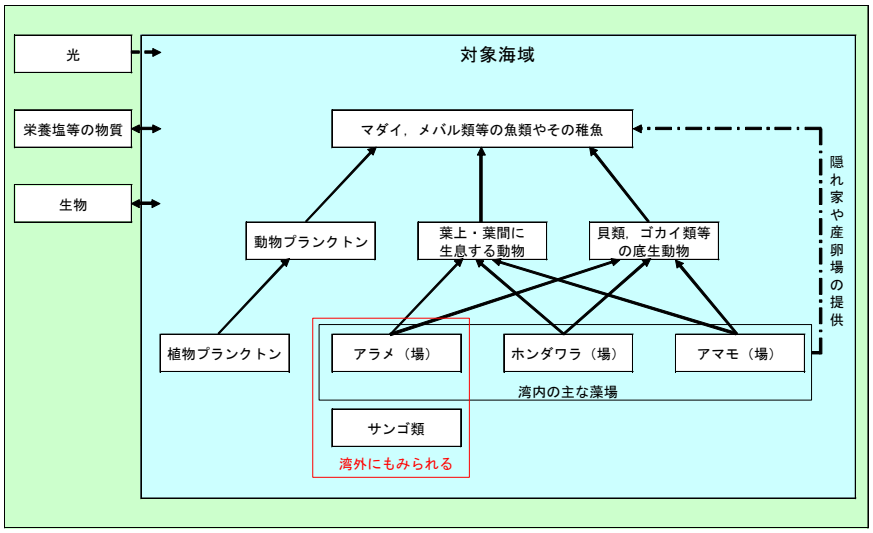
第４図　志々伎湾海域の類型区分図（準備書段階）

を餌として動物プランクトンが増殖する。この動物プランクトンはメバル類やマダイ等の魚類稚魚の餌となる。一方，藻場（アラメ場，ホンダワラ場，アマモ場）は葉上・葉間に生息する動物に生息空間や餌を提供し，それら動物も稚魚の餌となると考えられる。また海藻草類やその葉上に生育する付着性の微小海藻等は直接あるいはデトリタスを経て貝類，多毛類等の底生動物の餌となる。これら底生動物も魚類の餌となる。さらに藻場は魚類の隠れ家やアオリイカ等の産卵場となり，対象海域の生態系において藻場は重要な役割を担っていると考えられる。なお湾外岩礁域の一部にはサンゴ類がみられ，魚類も多くみられるが，チョウチョウウオ科等,藻場とは異なる魚類相である。

仮想発電所立地のための埋立では岩礁域や藻場が一部の消失する他，波高変化予測では防波堤の設置によって湾奥側の一部水域が静穏化すると予測されている。また温排水の拡散予測調査では一

第 8 表　志々伎湾海域の類型区分と生物の特徴（準備書段階）

海域の類型区分		生物の特徴
湾外	岩礁域	東側にはアラメ場があり，やや深くなるとノゴギリモクがみられる。魚類としてはイサキやマアジの群れがみられ，その他，マダイ，カワハギが漁獲される。 西側でもアラメがみられるが，魚類による食害が激しい。岩礁域の一部には造礁性のサンゴ類がみられる。魚類は東側と同じくイサキ等が漁獲されている他，マハタやクエが生息している。潜水目視ではチョウチョウウオ類，スズメダイ類等の南方系魚類が観察されている。 底生動物ではアカウニ，ムラサキウニ，イセエビ，ウチワエビ等が漁業の対象となっている。
	砂泥域	海藻草類はみられない。魚類としてはカワハギ，イラ，テンス，ハタタテダイ等が吾智網で漁獲されている。
湾口部	岩礁域	東側にはアラメ場があり，やや深くなるとノコギリモクがみられる。密度は低いがアカモク等のホンダワラ類もみられる。西側ではアラメは少なく，イソモク，フクロノリがみられ，春季にはワカメが繁茂する。 西側の岩礁域で，フクロノリがみられる場所では，ウニ類のガンガゼが目立つが，藻場保全のための除去活動も行われることがある。 魚類は東側，西側ともにマアジ，カサゴ，ナガサキスズメダイ，ホンベラなどがみられる。
	砂泥域	海藻草類はみられない。魚類はマダイ，チダイ，カワハギ，トゲカナガシラ，ヒラタエイ，ウマヅラハギ等が吾智網で漁獲されている。
湾中央部	岩礁域	南側にはアラメ場があり，やや深くなるとノコギリモクがみられる。密度は低いがオオバモクやヤツマタモクもみられる。 北側ではアラメはみられるが湾口や湾外ほど高い密度ではなく，ヤツマタモク，アカモク，ノコギリモク等ホンダワラ類の密度が高い。 底生動物は西側，東側ともにガンガゼやムラサキウニがみられるが，湾口よりも密度は低い。魚類はメバル，キュウセン，ホシササノハベラ，カワハギ，マハタ等がみられる。
	砂泥域	西側にはアマモ場がある。底生動物はアマモ場やその周辺にマガキガイがみられる。魚類は，マダイ，サビハゼ，ヒメジ，ワニエソが桁網によって漁獲されている。また湾央砂泥域の中に，径約10～30cmの岩が点在する礫底域があり，そこでは12月にマダイの若魚が多数観察されている。
湾奥部	岩礁域	アラメはみられず，春季はヤツマタモク，マメタワラ，ジョロモク，アカモク等のホンダワラ類が繁茂する。湾奥の岩礁域の一部には大型海藻類が全くみられない水域があり，そのような場所では局所的にガンガゼが高密度に生息する。魚類はメバル，カサゴ，ホシササノハベラ，ホンベラ等がみられる。
	砂泥域	湾奥にはアマモ場があり，密度も高い。アマモ場周辺に底生動物はイトマキヒトデ，モミジガイが多い。魚類はマダイ，メバル，アサヒアナハゼ，スジハゼ，ヒメハゼが桁網で漁獲されており，目視観察ではクサフグも多い。アマモ場ではチャガラの群れがよくみられる。
漁港域		漁港の防波堤には，ホンダワラ類が生育している場合もあるが，浮泥に覆われていることもあり，密度は低い。魚類はアサヒアナハゼ，ヒメハゼ，ゴンズイ等が観察されており，防波堤の根固め石付近ではクロダイやメジナの稚魚，カサゴ等がみられる。漁港の内側ではマアジ稚魚の群れがみられる。



第 5 図　志々伎湾海域の生態系の構造模式図（準備書段階）

対象海域生態系で想定される主な生物の関係及び対象海域内外での光，物質，生物の関係を示した。また藻場，サンゴ類については主にみられる場所（湾の内外）を示した。

部水域の水温の上昇が予測されている。これらの影響要因は直接的に藻場やマダイ，メバル類の生息場に影響する可能性があると懸念される。

(3) 生態系の機能

第9表に対象海域の生態系の機能について整理した。

5）予測項目（準備書段階）

(1) 注目種・群集

第10表に選定した注目種・群集及び選定理由を

第 9 表　志々伎湾海域の生態系の機能（準備書段階）

一般的に考えられる海域生態系の機能		対象海域の生態系の機能
大項目	小項目	
物質循環に係わる機能	海水交換，水質浄化，酸素供給，有機物生産	志々伎湾では湾外の海水が湾口西から湾内へ流入し，湾口東へ流出する傾向があり，これに伴う渦流が湾内にみられる。この流れはマダイ卵等の移入着底に寄与していると考えられており，卵稚仔調査でもその傾向が伺えた。岩礁域の一部にはムラサキイガイ等が生息しているため，水質浄化に寄与していると考えられる。藻場の海藻草類や植物プランクトン等は光合成により酸素を供給している。海藻草類の成長や植物プランクトンの増殖は有機物生産であり，動物の餌ともなる。
生息場としての機能	産卵場，育成場，索餌場，避難場	対象海域の岩礁域にはアラメ場，ホンダワラ場がある。岩礁域はメバル等の魚類やウニ類，巻貝類等の生息場となっているが，藻場はこれら生物に対して，直接的，間接的に餌を供給する機能を有していると考えられる。直接的には海藻類が餌となり，間接的には海藻類の葉上や葉間に観察される巻貝類，ヨコエビ類，アミ類等が餌となっていると考えられる。魚類の現地調査によれば，特にガラモ場やアラメ場では，大型海藻のない岩礁域よりもメバルの生息密度が高くなっており，海域が有する魚類の生息場機能を検討する上で，岩礁性の藻場は重要な存在であると考えられる。 また対象海域の砂泥域にはアマモ場があり，そこではチャガラ等の小魚の群れが観察され，葉上には小型の巻貝，ヨコエビ類等がみられる。またアマモ場やそのごく近傍ではマガキガイもみられ，アマモの植生がみられない砂泥域よりも多くの種を生息させる場となっている。しかしアマモの植生がみられない砂泥底においてもマダイ稚魚が高頻度に出現することから，砂泥域も魚類等の重要な生息場と考えることができる。 現地の潜水観察では，ホンダワラ場やアマモ場にはイカ類の産卵がみられているため，これら藻場は産卵場としても機能していると考えられる。
生物多様性の維持機能	種多様性，遺伝的多様性の維持	対象海域には岩礁域，砂泥域，漁港等があり，それぞれの環境に応じた生物が生息していると考えられ，種の多様性を支える機能があると考えられる。遺伝的な多様性についての情報は現段階では得られていない。
その他の機能	食料生産	対象海域ではイサキやマダイ，カワハギ等が漁獲されており，食料生産を支える機能があると考えられる。
	社会・文化的な場の提供	対象海域で行われている漁業や遊漁，自然体験学習等は社会・文化的な場の提供と考えることができる。

第10表　志々伎湾海域の注目種・群集と選定理由（準備書段階）

注目種・群集の候補（方法書）	注目種・群集（準備書）	選定理由
海藻草類 アマモ アラメ ワカメ ホンダワラ類 藻場	アマモ アラメ ワカメ ホンダワラ場 ノコギリモク ヤツマタモク アカモク アマモ場 岩礁性藻場	対象海域には砂泥域と岩礁域があり，砂泥域にはアマモ場，岩礁域にはアラメ場，ホンダワラ場が存在する。これら藻場は，他生物（葉上動物や底生生物，魚類等）の生息を支え，生態系の機能のひとつである生息場機能を有していると考えられる。そのため藻場への影響は他生物の生息にも波及する可能性がある。また藻場を構成する海藻草類の分布や生育状況は基質や水深，水温，波浪等の環境要因と関係があると考えられ，仮想発電所立地がこれら環境要因を変化させることにより，海藻草類や藻場に影響を及ぼすことが想定される。方法書では，これらの理由により，海藻草類，藻場を注目種・群集の候補とした。 準備書においては，ホンダワラ類については，対象海域での出現頻度が高い３種（ノコギリモク，ヤツマタモク，アカモク）に着目し，これら個別の種に対する影響予測に加え，ホンダワラ場への影響も予測対象とした。またホンダワラ類にアラメ，ワカメも加えた岩礁性藻場への影響も予測対象とした。
魚類等遊泳動物 マダイ メバル類	マダイ メバル類	対象海域には多種の魚類が生息すると考えられるが，砂泥域に生息するマダイ稚魚や岩礁域に生息するメバル類稚魚は，それぞれ場への依存性が高いと考えられる。仮想発電所立地がこれら稚魚の生息場の環境に変化を与えることにより，稚魚の分布や生息に影響を及ぼすことが想定される。方法書では，これらの理由により，マダイとメバル類を注目種の候補として選定した。 現地調査においてマダイ稚魚やメバル類稚魚の生息が確認され，対象海域がこれら生物の生息場となっていることが明らかとなったため，準備書においてはこれらを注目種として位置づけ，特にそれぞれの稚魚に対する影響を予測することとした。
底生動物 ウニ類 アワビ類 サザエ	（選定せず）	対象海域には，多種の底生動物が生息すると考えられるが，ウニ類やアワビ類，サザエは岩礁域に生息する特徴を有する生物であり，場への依存性が高いと考えられる。仮想発電所立地がこれら生物の生息場の環境に変化を与えることにより，これら生物の分布や生息に影響することが想定される。方法書では，これらの理由により，ウニ類，アワビ類，サザエを注目種の候補とした。 アカウニ，ムラサキウニ等のウニ類やアワビ類，サザエは漁業対象種として漁獲されていた。また，ウニ類の一種であるガンガゼは局所的に高密度で観察されたものの，藻場保全のため除去活動も行われていた。これら生物は岩礁域に分布していると考えられるが，現地調査では発見頻度が低く，分布の特徴を把握することが困難であった。 専門家及び地元有識者からの聞き取り調査結果から，藻場が保全されればウニ類やアワビ類，サザエの生息も保全されると仮定して，準備書においては藻場への影響予測をできるだけ詳細に，定量的に実施することとした。ウニ類，アワビ類，サザエへの影響は藻場への影響を予測した後，波及影響として検討することとした。このため準備書ではウニ類等の底生動物は，影響を直接的に予測するための注目種・群集としなかった。

示した。

(2) 注目される生態系の機能

注目される生態系の機能としては，生息場の機能を選定した。対象海域にはアラメ場，ホンダワラ場，アマモ場があり，これら藻場は魚類等の生息場となっている。仮想発電所の埋立予定地は岩礁域と砂泥域であり，岩礁域の一部には，アラメ場，ホンダワラ場がある。また防波堤の設置により静穏域が形成され，アマモ場が現状よりも拡大する可能性がある。さらに温排水による海水温の上昇が海藻草類に及ぼす影響も懸念される。アマモ場の拡大はそこに生息する生物の生息場の拡大につながるが，海域全体として生息場機能がどのように変化するのか検討する必要がある。

６）予測方法と結果（準備書段階）

(1) 予測方法

①予測に用いたデータ

第11表にケーススタディで想定した仮想発電所の条件と実施した調査・予測の概要を示した。

②予測の過程と予測方法

仮想発電所の立地は埋立，防波堤の設置，温排水の放水によって対象海域の一部を消失させ，波浪，流況，水温等の環境要素を変化させる。この変化が注目種・群集及び海域の生息場機能にどの程度影響を与えるかを予測した。

注目種・群集の内，海藻草類は種別の生息場適性指数（HSI：Habitat Suitability Index）を仮想発電所の立地前後で算出し，その変化から仮想発電所影響を予測した。また藻場は種別HSIを統合した藻場影響予測手法を用いた。この藻場影響予測手法の詳細は技術資料に示した。マダイ，メバル類は稚魚に着目し，稚魚の生息場を推定して，場の消失影響，温度影響，藻場変化の影響をそれぞれ予測した。海域が有する生息場機能については，注目種・群集の予測結果から，定性的に予測した。

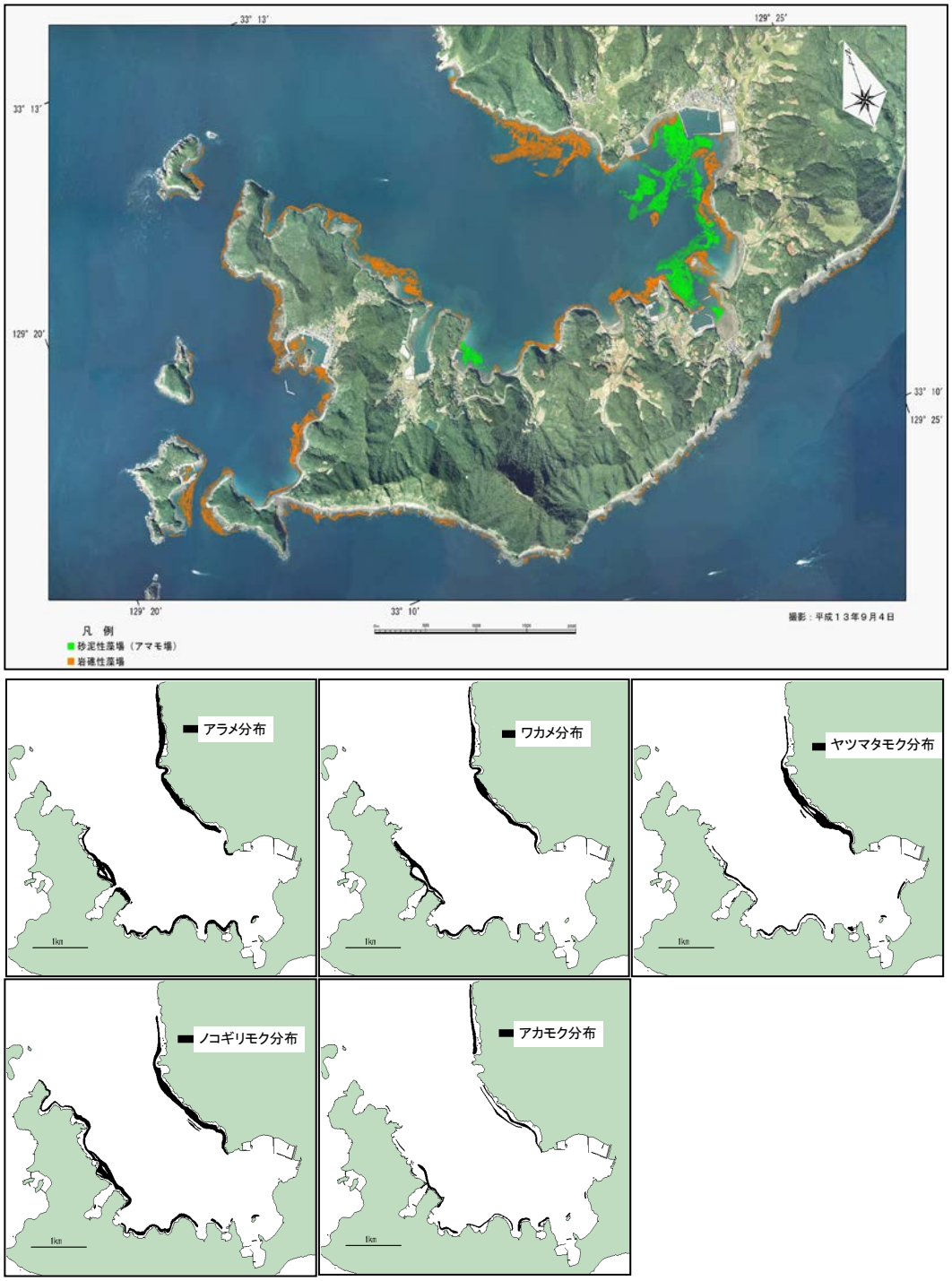
(2) 予測結果

①海藻草類

第6図に，志々伎湾海域の海藻草類の分布図を示した。岩礁性藻場と砂泥性藻場（アマモ場）に

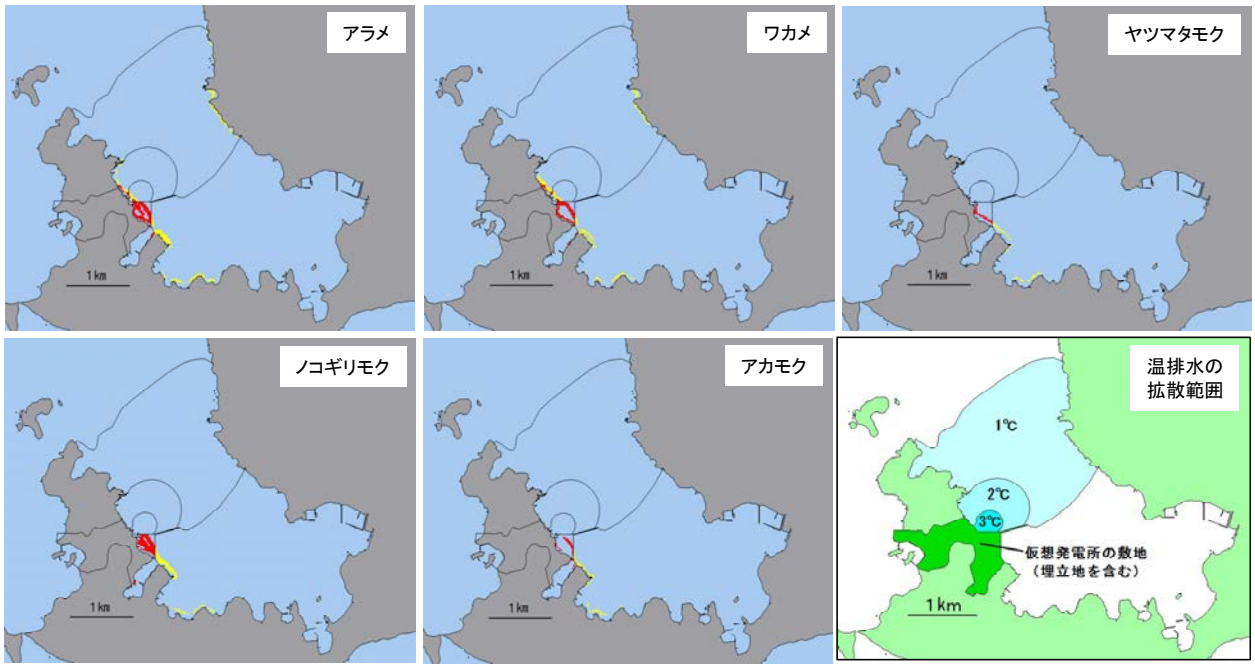
第11表　志々伎湾海域ケーススタディの仮想発電所条件と調査・予測の概要

項目	概要
仮想発電所条件 （石炭火力発電を想定）	埋立（20.5ha），防波堤設置（400m） 温排水（40m^3/秒×2，表層放水，7℃上昇，取水温度27℃）
環境要因の調査	
海岸地形	航空写真，デジタル地図等
水深	マルチビーム音響測深結果
底質	サイドスキャン，採泥，潜水目視観察結果
波高	福江島波浪観測結果
流況	2002年7月29日～8月14日調査結果
水温（定点連続観測）	資料：1982年10月～1983年12月 実測：2003年4月～2005年4月
水温・塩分	2002年7月30日調査結果
注目種・群集の調査	
岩礁性の海藻類	測線調査，個別点調査から水平分布図作成
岩礁性藻場，アマモ場	航空写真撮影解析結果，潜水目視観察結果
マダイ	吾智網，桁網調査結果
メバル類	潜水目視観察結果
生態系機能の調査	
生息場機能	マダイとメバル類の分布調査結果を使用
環境要因の予測	
水温予測	準三次元モデル
波浪予測	予測計算：磯部（1986）の方法
地形変化予測	埋立，構造物による場の消滅のみを対象
注目種・群集の予測	
海藻草類	生息場適性指数（HSI)モデル：文献調査結果から作成し，海藻草類の現地調査結果を用いて修正したモデル（アラメ，ワカメ，アカモク，ノコギリモク，ヤツマタモク，アマモ）を用い，地理情報システム（GIS）上に20m×20mの計算格子を作成して，仮想発電所立地前後のHSIを計算。考慮した環境要因は底質，水深，波高，水温。
マダイ，メバル類	マダイ，メバル類に及ぼす温度影響，場の消失影響，藻場の変化影響を予測
生態系の機能に関する影響予測方法	注目種・群集の予測結果から定性的に予測



第 6 図　志々伎湾海域の海藻草類の分布図

上図は航空写真を解析し潜水目視観察で確認して作成した岩礁域の海藻類（オレンジ色）と砂泥域のアマモ（緑色）の分布。下図は測線調査及び測線間の補完調査により作成した海藻類5種の分布（黒塗り部分）。



第７図　仮想発電所立地が海藻類に及ぼす影響

赤色は影響大（-1≦（HSI変化）＜-0.52），黄色は影響小（-0.52≦（HSI変化）＜-0.04）をそれぞれ示す。右下の図は仮想発電所の敷地と温排水の拡散範囲を示す。

第12表　岩礁性の海藻類が仮想発電所立地により受ける影響の予測結果

岩礁性の海藻類	予測対象海域の分布面積（ha）	影響区分毎の面積（ha）			影響区分毎の面積（%）		
		影響大	影響小	影響なし	影響大	影響小	影響なし
アラメ	42.9	5.7	8.8	28.4	13.3	20.5	66.2
ワカメ	30.8	4.3	6.4	20.1	13.9	20.8	65.3
ヤツマタモク	28.6	1.2	2.1	25.3	4.2	7.3	88.5
ノコギリモク	44.2	5.0	4.5	34.7	11.3	10.2	78.5
アカモク	16.1	1.6	2.4	12.1	9.9	14.9	75.2

影響大は-1≦（HSI変化）＜-0.52，影響小は-0.52≦（HSI変化）＜-0.04，影響なしは-0.04≦（HSI変化）≦＋0.04をそれぞれ示す。影響区分毎の面積（%）＝〔（影響区分毎の面積(ha)）/（海藻類の分布面積(ha)）〕×100。

ついては航空写真を解析するとともに潜水目視調査を実施して分布図を作成した。藻場を構成する主要な海藻類5種（アラメ，ワカメ，ヤツマタモク*Sargassum patens*，ノコギリモク*S.macrocarpum*，アカモク*S.horneri*）については植物調査の測線調査結果及び測線間の補完的な調査結果から，それらの分布の有無を示した。

仮想発電所立地が海藻類5種に及ぼす影響を予測した結果を第7図に示した。また第12表にそれぞれの海藻類が受ける影響域の面積を示した。

予測した全ての種で，埋立域は場が消滅するため影響大に分類される。温排水の影響がみられるのはアラメとワカメであり，ホンダワラ類（ヤツマタモク，ノコギリモク，アカモク）ではみられない。これは温度耐性が種により異なるためである（馬場，2007，2008，2011；三浦ら，2010；下茂ら，2000）。発電所よりも湾奥側で影響小と予測される水域が全ての種でみられるが，これは埋立地，防波堤の設置による波浪環境の静穏化による。

第8図に仮想発電所立地が岩礁性藻場に与える影響を示した。岩礁性藻場HSIは，対象藻場の主要構成種であるアラメ，ワカメ，ノコギリモク，アカモク，ヤツマタモク，それぞれのHSIを相加平均することで算出した。

第9図に仮想発電所立地前後のアマモHSI変化と現状（立地前）のアマモ分布を示した。アマモHSIは仮想発電所立地後に，低下する水域（埋立域，第9図の赤色）と上昇する水域（波浪低減域：仮想発電所から湾奥側，第9図の緑色，青色）が出現した。ここで，立地後にHSIが低下する場合をマイナス影響，上昇する場合をプラス影響と呼

ぶことにする。第9図では，アマモHSIが低下する水域は現状のアマモ分布と重なっていない。このことは今回の計算条件では，現状のアマモ分布域にはマイナス影響が出現しないことを意味しており，仮想発電所立地の影響が及ばないことを示唆する。

一方，HSIが立地後に上昇する水域ではアマモ分布が拡大する可能性，つまりプラス影響が考えられる。仮想発電所立地後にアマモ場がどの程度増加するか試算するため，立地前におけるアマモHSIとアマモ出現率（出現率（%）=〔(HSI階級ｎのアマモ分布格子数）/（HSI階級ｎの総格子数)〕×100）の関係を分析したところ，対象海域全体を計算範囲とするとアマモHSIが0.8より大きい計算格子の41%にアマモが出現するという結果が得られた。一方，立地後に波浪低減域となる水域に限って分析すると，HSIが0.8より大きい計算格子の19%にアマモが出現する結果となった。

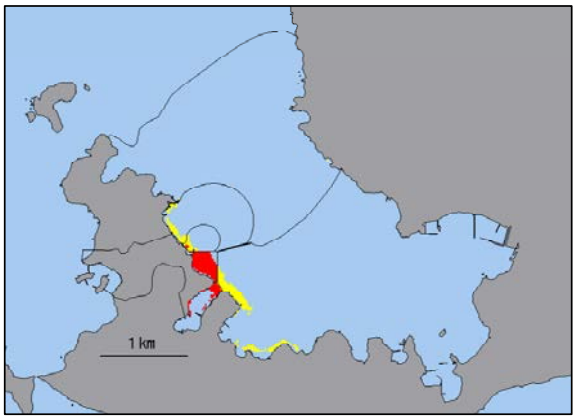
第10図に仮想発電所立地後の波浪低減域についてアマモHSIを示した。仮想発電所立地後にアマモHSIが0.8より大きい水域は19.6ha（第10図の青色）である。ここで，前述した立地前のアマモHSIとアマモ出現率の関係を立地後にも応用すると，立地後のアマモ分布面積は出現率19%として3.7ha，出現率41%として8.0haと計算される。なお，現状のこの水域のアマモ場は3.5haであるため，増加分はそれぞれ0.2ha，4.5haと試算される。ここではHSIと出現率を用いて，仮想発電所立地後のアマモ分布面積の増加を試算したが，このようなプラス影響の予測方法については今後の課題である。

②マダイ

【場の消失影響】

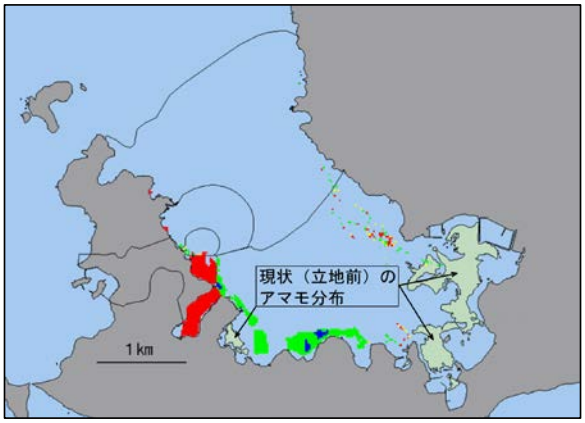
マダイ稚魚の分布については，平成14年6月の桁網調査では，湾中央部砂泥底で最も多く77尾が漁獲されたが，平成15年6月調査では1～19尾であった。畔田ら（1980）の結果もふまえて，志々伎湾では，マダイ稚魚（5～6月，全長10～40mm）の分布の中心は湾中央部から湾奥の砂泥域と考えることができる。

一方，マダイ若魚の分布は，年によって個体群密度が10倍程度の幅で変動し，生息密度が上昇す



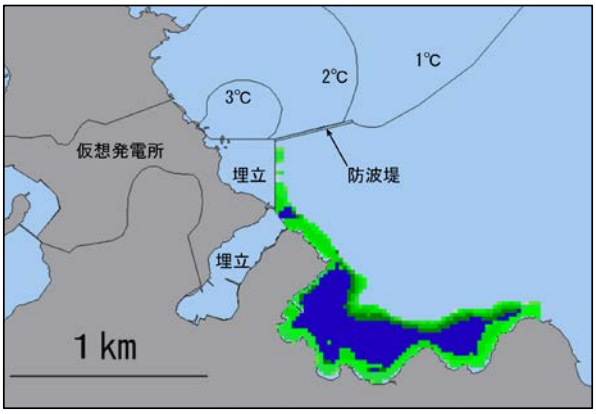
第８図　仮想発電所立地が岩礁性藻場に及ぼす影響

赤色は影響大（-1≦（HSI変化）＜-0.52），黄色は影響小（-0.52≦（HSI変化）＜-0.04）をそれぞれ示す。温排水の拡散等は第7図参照。



第９図　仮想発電所立地前後によるアマモHSI変化と現状（立地前）のアマモ分布

HSI変化＝（立地後HSI）－（立地前HSI）。赤色は-1≦(HSI変化）＜-0.52，黄色は-0.52≦（HSI変化）＜-0.04，緑色は0.04＜（HSI変化）≦0.52，青色は0.52＜（HSI変化）≦1をそれぞれ示す。温排水の拡散等は第7図参照。



第10図　波浪低減域（防波堤の湾奥側）における立地後アマモHSI

青色は立地後アマモHSIが0.8より高い水域，緑色は立地後アマモHSIが0より大きく0.8以下の水域をそれぞれ示す。現状（立地前）のアマモ場は青色の一部に含まれる。

る年には沿岸藻場へ生活域を広げ，食性も砂泥域でのヨコエビ類からカイアシ類，アミ類，ワレカラ類など藻場に生息する動物群へと広がることが知られている（畔田ら，1980;木曾，1982）。志々伎湾におけるマダイ若魚の分布について，首藤ら（1983）は，分布密度の変化，脂肪含有量，摂餌状態の比較から，湾奥部細砂域が一等地，湾中央部の極細砂域，ガラモ場，アマモ場が二等地，湾口部が三等地であると，生息場を評価している。マダイが成長や生息密度に応じてすみ場を広げ，その場に応じて食性を柔軟に変化させる生物学的特性は，マダイの適応能力の高さを支えるものと考えられている（島本，2004）。

マダイ若魚は適応能力が高く生息の範囲も広いが，稚魚の分布は比較的限られており，稚魚期の生息場はマダイ個体群の維持にとって重要と考えられる。

第11，12図に，予測海域における水深3～20mの砂泥域と桁網調査による稚魚の漁獲尾数を重ねて示した。平成14年度（第11図）は湾奥でも2～7尾が漁獲されたが，平成15年度（第12図）は湾奥ではマダイ稚魚は漁獲されなかった。このように年により差異があり，明確にマダイ稚魚の生息場を規定することは難しいが，おおよそ水深3～20mの砂泥域が生息場として考えられる。

予測海域のマダイ稚魚生息場（水深3～20mの砂泥域）は湾外の水域も含め347haであるが，志々伎湾内に限ると338haである。埋立と防波堤設置によりマダイ稚魚の生息場が失われる面積は合計で2haと計算されることから，現状の約0.6%が埋立や防波堤設置により失われると予測される。

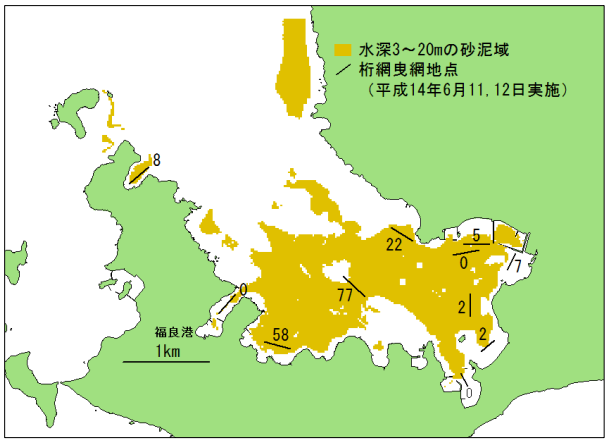
【温排水影響】

マダイ稚魚は底層を遊泳することから，表層に広がる温排水による直接的な水温上昇にマダイ稚魚が接触する可能性は低いと考えられる。仮想発電所の放水方式によっては，湾奥で水温が上昇することがモデル計算で示されたが，その昇温幅は最大でも１℃未満であった。マダイ稚魚期（5～7月）の志々伎湾の湾奥水温は平成14年が17.2～23.2℃，平成15年が17.8～23.6℃であった。文献調査の結果から，水温20℃で馴致したマダイ稚魚（体長11.6cm）の臨界最高温度（高温耐性試験で供試魚が横転するなど平衡を喪失した温度）は31.0±0.16℃，高温側死亡温度は33.7±0.25℃であり（土田，2002），温排水の放水による水温上昇がマダイ稚魚の生存に直接的に影響することはないと予測される。

マダイ稚魚の食性は，成長にともないカイアシ類ノープリウス→ヨコエビ類→アミ類→エビ類，カニ類，魚類等へと変化する。尾叉長15mm前後の稚魚は底層に群棲する浮遊性のカイアシ類や小型のヨコエビ類を捕食しながら成長し，6～7月には尾叉長30～70mmになり，ヨコエビ類を主体にアミ類，多毛類，魚卵などを活発に捕食する（島本，2004）。なお，湾奥部の水温変化はマダイの餌となる生物の出現時期や現存量に影響する可能性があり，それがマダイ稚魚の生残等に影響することも考えられるが，これらの予測については，マダイと餌を競合する他の魚種の関わりもあり，今後の課題である。

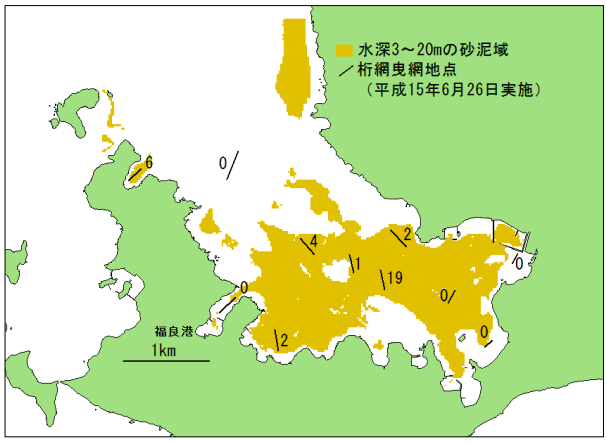
【藻場変化による影響】

対象海域の岩礁性藻場は132haであり，このう



第11図　桁網調査によるマダイ稚魚の捕獲尾数（平成14年6月実施）と水深3～20mの砂泥域

捕獲尾数は桁網の曳網距離300mあたりに換算して示した。



第12図　桁網調査によるマダイ稚魚の捕獲尾数（平成15年6月実施）と水深3～20mの砂泥域

捕獲尾数は第11図に同じ。

ち埋立により消失する面積は9.1ha（6.9%）である。首藤（1983）によれば，岩礁性藻場は，マダイ若魚の生息場として二等地に分類されており，生息場の減少が考えられる。アマモ場の予測では，波高低減域において0.2～4.3haのアマモ場が増加する結果となった。このことは，首藤（1983）の生息場評価に従えば一等地である砂泥底が二等地のアマモ場に移行することになり，マダイ若魚の生息場の質が低下すると予測される。

③メバル類

【温排水影響】

志々伎湾海域の水温調査の結果から，月別平均水温の最高は平成16年8月の湾奥で28℃であった。メバル類稚魚を用いた試験（供試材料の種名は*Sebastes inermis* と記載）では，選好温度範囲が20.5～24.6℃であるものの，臨界最高温度は25℃馴致群が32.5±0.16℃，28℃馴致群が33.5±0.10℃であった（土田，2002）。仮想発電所の温排水による海域の温度上昇を予測した結果からメバル類が主に生息する底層の温度上昇をみると，表層放水で取水温度27℃の場合，30℃以上となる水域は0.36haであり，その最高水温は31.5℃であった。これらから，温排水による温度上昇が直接的にメバル類の生存に影響することはないと予測される。

【場の消滅，藻場変化による影響】

藻場への影響では，岩礁性藻場の減少，アマモ場の増加が予測された。岩礁域や藻場はメバル類の生息場として重要であることから，ここでは仮想発電所立地がメバル類の生息場に与える影響を中心に予測した。

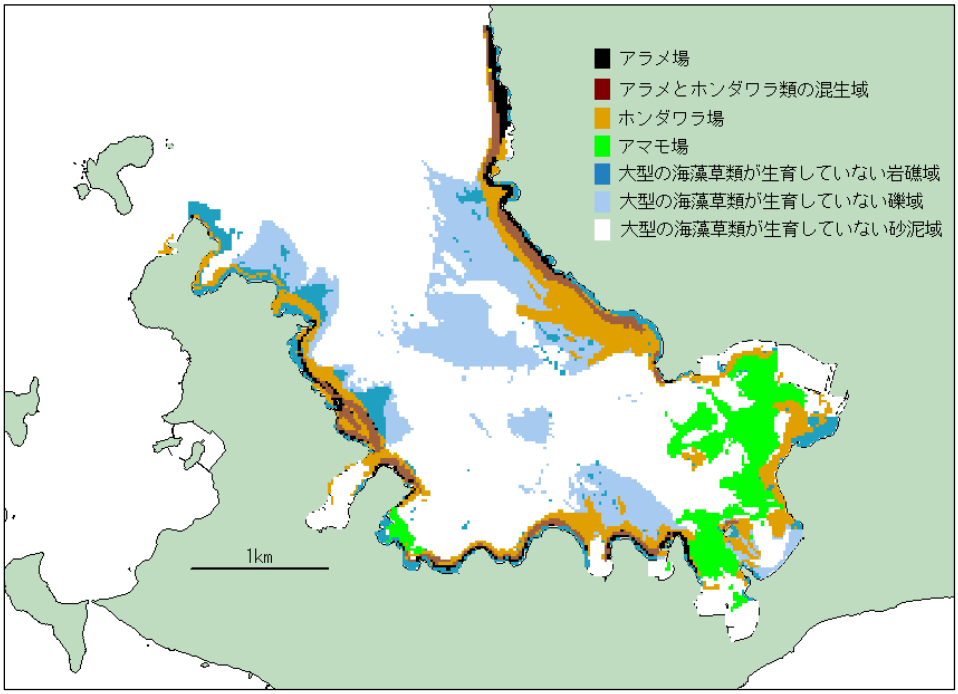
潜水調査によるメバル類の個体数計測結果では，メバル類が最も多く観察されたガラモ場での個体数を1とすると，アラメ場は0.37，藻場のない岩礁域は0.03，アマモ場は0.05，アマモ場のない砂質域は0という結果が得られた。このことは，生息場の特性によりメバル類の分布密度が異なることを示している。

このような生息場の特性として海底基質と海藻草類の植生に着目し，予測海域の場をタイプ分けした（第13図）。タイプ分けは，海底地形，海藻草類の分布，航空写真による藻場判別の各調査結果を用いた。次に，仮想発電所の立地前後での，それぞれのタイプの面積を算出した。仮想発電所立地後の面積を算出するにあたっては，次の仮定を設定した。

・埋立や防波堤設置によって場が消滅する。

・温排水による昇温域でアラメに影響大とされた水域では，現状のアラメ場が消滅し，海藻草類のない岩礁域となる。またアラメとホンダワラ類が混生する場はホンダワラ場となる。

・波浪低減域においてはアマモ場の面積が増加し，その分，海藻草類の生育しない砂泥域が減少する。



第13図　予測海域のタイプ分け

・影響小とされた水域については，場のタイプは変化しない。

なお，アマモ場面積の増加は0.2～4.5haと予測されたが，ここでは増加面積を予測幅の中間的な値である2.15haと仮定した。また影響小とされた水域は，海藻草類の競合や遷移等の不確定要素が多いため，ここでは場のタイプは変化しないとした。

これらの仮定をもとに，それぞれのタイプにおけるメバル類稚魚の個体数密度とタイプの面積を用いて，仮想発電所（表層放水，取水温度27℃）立地前後のメバル類の個体数を試算した。それによると立地前は133,000個体，立地後は125,000個体と試算された。この試算では，温排水の影響による藻場の減少も考慮しているが，予測結果に大きく影響しているのは埋立，防波堤の設置によるメバル類生息場の消滅であった。なお，この試算は平成16年の調査結果（調査回数2回，調査点のべ50地点）によるものである。したがって試算結果は発電所立地後のメバル類個体数を予測したというよりも，立地前後で比較した場合に，個体数が増加傾向にあるのか減少傾向にあるのか相対的に検討するための資料と考えるべきである。

④生態系の構造模式図からみた影響

志々伎湾海域には岩礁域，礫域，砂泥域があり，水深は湾口部で30～35m，湾中央部で15～16mである。岩礁域にはアラメやホンダワラ類などの岩礁性海藻類が生育する藻場があり，湾奥の砂泥域にはアマモ場がある。岩礁性の藻場はメバル類などの魚類やサザエなどの貝類，ウニ類等の生息場となっており，アマモ場やその周辺の砂泥域はマダイをはじめとする魚類の生息場となっている。このような海域に仮想発電所を立地した場合の影響を予測するにあたって，海域の生態系を代表する種として，先に述べたように，藻場を構成する海藻草類，マダイ，メバル類を取り上げた。

仮想発電所の埋立や防波堤設置による消失面積は予測海域の1.9%程度であったが，海藻類の消失面積（消失面積（%）＝〔(埋立で消失する対象海藻分布面積）/（対象海藻分布面積)〕×100）を算出したところ，アラメで11.7%，ワカメで11.7%，ホンダワラ類3種で10.0%となった。一方，埋立，防波堤の設置による波浪低減域では，アマモ場の面積が0.2～4.5ha（0.3～7.3%）増加する予測結果となった。

温排水の影響に関しては，表層放水，取水温度27℃の場合に，アラメやワカメで「影響大」とされる水域が発電所放水口の近傍に出現したが，ホンダワラ類では温排水による「影響大」と判断される水域は出現しなかった。アラメとホンダワラ類（アカモク，ヤツマタモク，ノコギリモク）の高温耐性を比較すると，ホンダワラ類の方がアラメよりも高い耐性を示すことが知られている。温排水拡散域のうち，アラメに対しては「影響大」，ホンダワラ類に対しては「影響なし」と予測された水域では，アラメからホンダワラ類に遷移する可能性がある。

流況予測によれば，仮想発電所立地により湾口側では海水交換が高まることが示されており，湾口側がより外海的，南方海域的な生態系に近づくことが予測され，アラメ場の縮小，サンゴ類の拡大が起こる可能性がある。

志々伎湾海域の湾外や湾口西側では，魚類によるアラメの食害が観察されているほか，ガンガゼ *Diadema setosum* による食害も懸念されている。湾外や湾口西側でみられるこの現象は湾内では顕著ではないが，仮想発電所よりも湾口側が外海的な環境に近づく可能性があることを考慮すると注意を要すると考えられる。

⑤注目種・群集への予測結果からみた生物の生息場機能への影響予測

岩礁性藻場の減少は，そこに生息する魚類，貝類等の生息場が減少することを意味する。先に述べたように，メバル類を指標とした予測では，仮想発電所立地後はメバル類の生息場が減少する傾向にあることが示された。一方，湾奥側では仮想発電所立地により波浪が低減することによって，より内湾的となりアマモ場が拡大すると予測されている。これはアマモ場に生息する生物群集にとっては生息場が拡大することを示唆する。しかし，首藤（1983）によれば，マダイ稚魚にとって砂泥底が一等地，アマモ場が二等地に分類されており，一等地である砂泥底が二等地のアマモ場に移行することはマダイ稚魚の生息場の質が低下することを意味する。

また，マダイ卵の移入シミュレーションでは，仮想発電所立地により志々伎湾内への卵稚仔の流入量減少が予測された（三浦，未発表）。このことは，湾外で産卵され湾内で稚魚として生育するような魚類（マダイ，チダイ *Evynnis japonica*，カタクチイワシ *Engraulis japonicus* など）を対象とすれば，志々伎湾の生息場機能が低下すること

を示唆する。一方，湾内で一生を過ごすと考えられる魚類（アナハゼ *Pseudoblennius percoides*，スジハゼ *Acentrogobius pflaumii*，ネズミゴチ *Repomucenus curvicornis* など）にとっては，その生息場は保全されるのではないかと考えられる。

7）技術資料：藻場影響予測手法

本手法は経済産業省委託「発電所生態系調査手法検討調査」で開発されたものである（海生研，2012）。第14図に藻場影響予測手法の概要を示した。藻場影響予測手法はコンピュータソフトウェアの地理情報システム（GIS：Geographic Information System）を用いて，発電所立地前後の藻場変化の程度とその面積を計算する手法である。この技術は藻場や主要海藻類の分布データ及び生態特性，発電所立地前後の環境要素の変化予測結果等に関する情報があって初めて可能であることに注意が必要である。

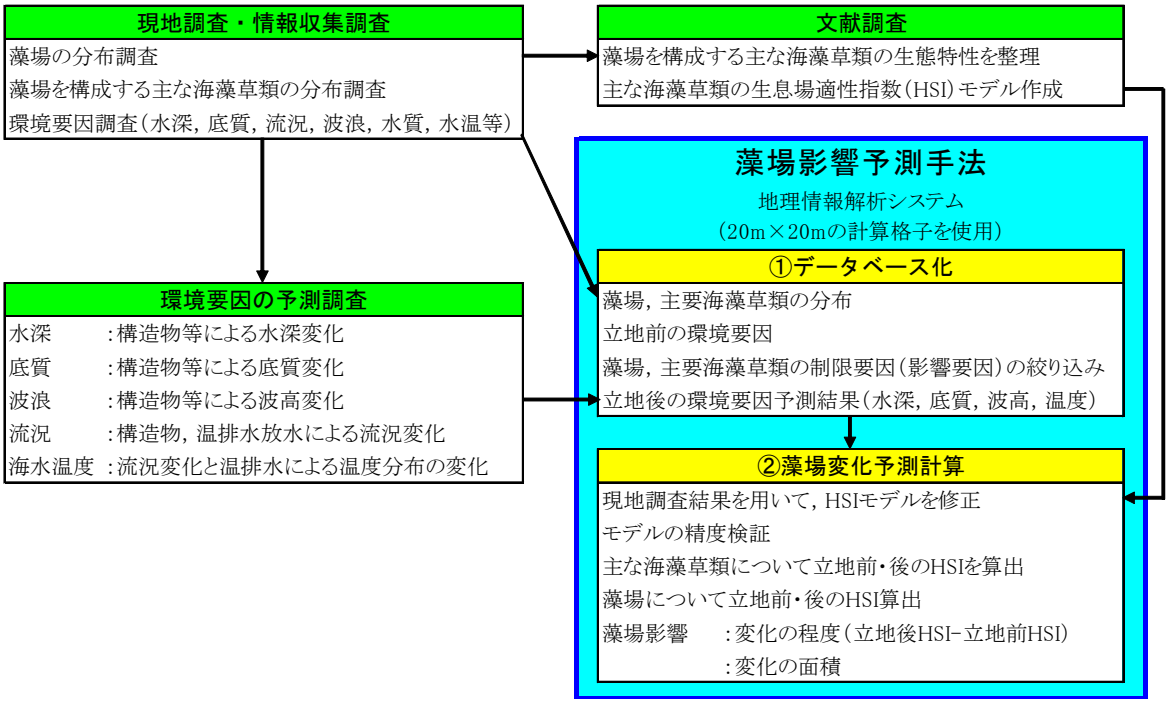
①データベース化

藻場影響予測手法では，データベース化と藻場変化予測計算の２段階がある。データベース化では，藻場全体の分布および藻場を構成する主な海藻草類の分布をGISに取り込む。同様に発電所立地前の水深，底質，波浪等の環境要素についても取り込み，藻場の分布と環境要素の関係について検討し，藻場の制限要因，発電所による影響要因から，藻場変化予測計算に採用する環境要素を絞り込む。藻場のある海域のケーススタディでは水深，底質，波高，温度の4要因に絞り込んだ。この4要因に関する予測結果を同じくGISに取り込む。それぞれの情報をシステムに取り込む際には，データに位置情報さえあれば数値データでも写真や地図，点や線のデータでもかまわないが，次の段階で実施する藻場変化予測計算のためには，同じ形式のデータに変換する方が合理的である。ケーススタディでは，GIS上で対象海域に20m×20mの計算格子を作成して各データを表現できるようにした。

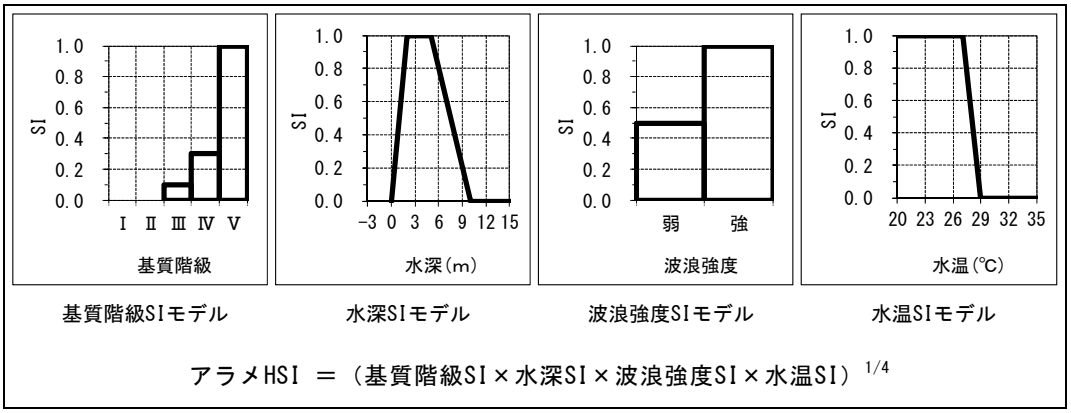
②藻場変化予測計算

この段階では，まず予測モデルを完成させる必要がある。ケーススタディでは予測モデルとして生息場適性指数（HSI）モデルを用いた。HSIモデルでは，環境要素の状態に対する対象生物の適性（SI）を0（不適）～1（適）で表し，複数の環境要素に対するSIを統合してHSIとする。例として第15図にアラメのSIモデルとHSIの算出方法を示した。通常HSIモデルは文献情報を基に作成されている（三浦ら，2010）が，使用する際には現地調査等で得られているデータに合わせて，モデルを修正する必要がある。

ケーススタディにおいて現地調査結果をもとに修正したアラメのSIモデルを第16図に示した。SIモデルの修正方法は，例えば底質について第13表に示したように，底質分類毎の水深14m以浅の全

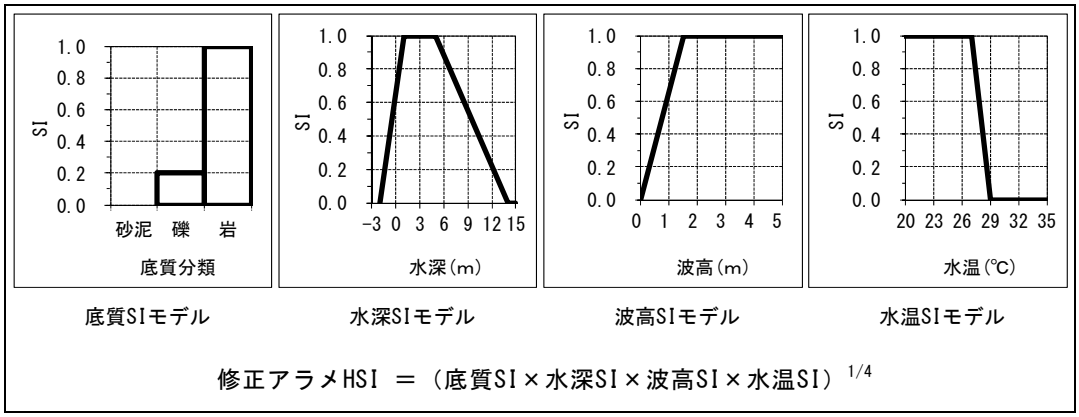


第14図　藻場影響予測手法の概要



第15図　文献情報をもとに作成されたアラメのSIモデルとHSI算出方法

基質階級SIモデルの基質階級は今野（1985）による石礫の長径を用いた区分を示す。石礫の長径については，Ⅰは1～5cm，Ⅱは5～12.5cm，Ⅲは12.5～25cm，Ⅳは25～50cm，Ⅴは50cm以上をそれぞれ示す。



第16図　現地調査の結果を用いて修正したアラメのSIモデルとHSI計算方法

第13表　底質SIの求め方

底質分類	水深14m以浅の格子数	アラメ分布域内の格子数	アラメの出現率（%）	SI
岩	2867	926	32.3	1.0
礫	2248	119	5.3	0.2
砂泥	6850	27	0.4	0.0

アラメの出現率（%）＝〔（アラメ分布域内の格子数）/（水深14m以浅の格子数）〕×100。志々伎湾海域ではアラメは水深14m以浅に出現したため，水深14m以浅に限って計算した。

ての格子数とアラメ分布域内の格子数をそれぞれ計数してアラメ出現率を求め，その相対値からSIの値を設定した。なお，分母の条件として水深14mとした理由は，対象海域においてアラメが水深14m以浅に出現したためである。水深についても同様の考え方でSIを設定した。波高については，波高シミュレーションの結果を用いて同様にSIを設定した。これら現地調査結果やシミュレーションから得られたモデルにみられる傾向は，文献調査から作成されたモデルとほぼ同様であった。

次に，作成したモデルについてはその精度を検証しておく必要がある。ケーススタディでは，計算格子上でHSI計算結果とアラメ分布を重ね合わせ（第17図），その重なり具合をHSIの階級毎に次式で求めた。

HSI階級ｎでの出現率（%）=〔(HSI階級ｎのアラメ分布格子数）/（HSI階級ｎの総格子数)〕×100

第18図にアラメHSIと出現率の関係を示した。HSIの階級が高いほど出現率は高くなっており，これはアラメの分布とHSIの間に関係があることを示している。しかし，最も高い階級（HSIが0.9～1.0）においても出現率は50%であり，このモ

デルで予測できる限界と考えることができる。

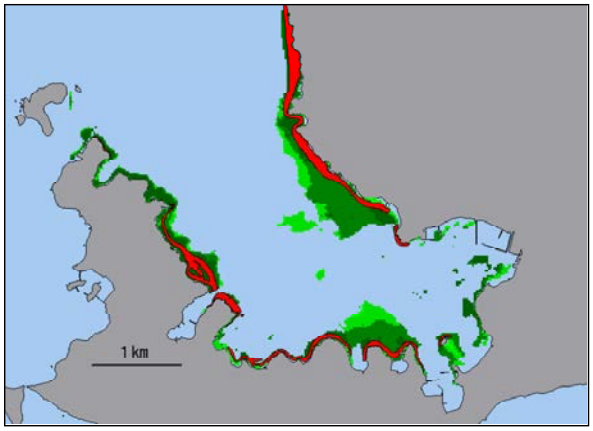
仮想発電所立地がアラメに及ぼす影響の予測は，HSIの変化として，次式で求めた。

HSI変化 =（立地後HSI）－（立地前HSI）

このとき，立地前や立地後のHSIの範囲は0から1であるため，立地前後でのHSI変化の範囲は-1から+1となる。HSI変化が正の値となるのは立地前よりも立地後にHSIが高くなることを意味しており，負の値となるのは立地前よりも立地後にHSIが低くなることを意味する。またHSI変化が０であれば立地前後でHSIが変化しないことを意味する。立地前後でのHSI変化は仮想発電所の影響の程度を表すと考えられる。論理的には影響が全く及ばない場合，HSI変化は0であるが，実際には，HSIは4環境要素（底質，水深，波高，水温）から構成されており，仮想発電所立地前後での波高計算結果等のわずかな違いがHSI変化に影響する。そのためHSI変化を詳細に図化すると複雑になりすぎる場合がある。ここでは仮想発電所の影響の程度をHSI変化で示すため，仮に次のように区分した。

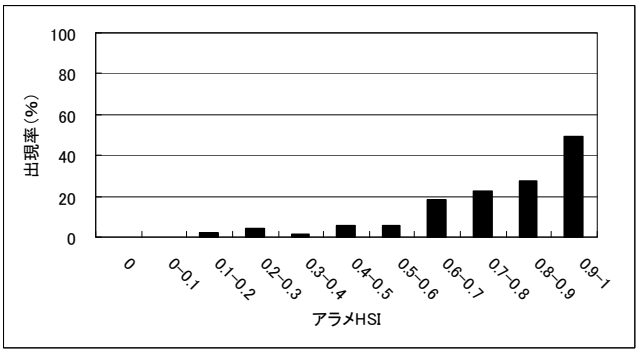
影響大	：	-1	≦（HSI変化）＜	-0.52
影響小	：	-0.52	≦（HSI変化）＜	-0.04
影響なし	：	-0.04	≦（HSI変化）≦	+0.04
プラス影響小	：	+0.04	＜（HSI変化）≦	+0.52
プラス影響大	：	+0.52	＜（HSI変化）≦	+1

HSI変化は全計算格子で計算されるが，ここではアラメへの影響を予測する目的で，アラメ分布



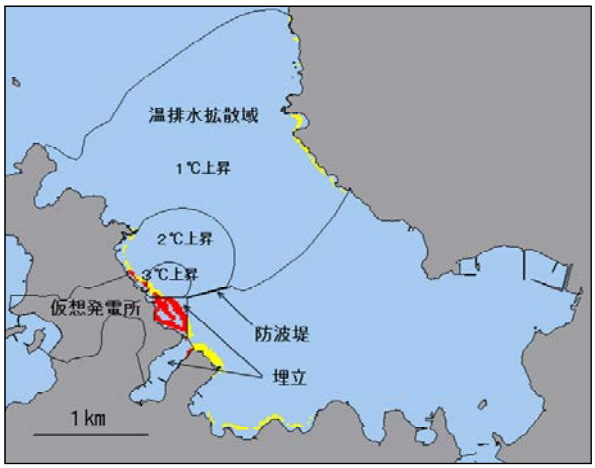
第17図　仮想発電所立地前のアラメHSI（緑色）とアラメ分布（赤色）

緑色が濃い程アラメHSIの値が高いことを示す。アラメ分布は測線調査及び測線間の補完調査により得られた結果（第6図参照）。



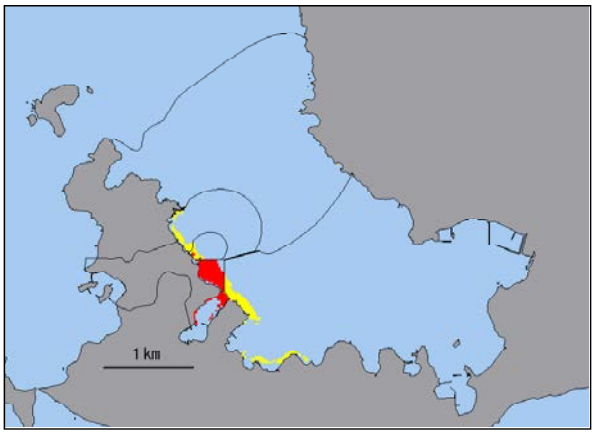
第18図　アラメHSIと出現率（%）の関係

HSI階級nでの出現率（%）=〔(HSI階級nのアラメ分布格子数）/（HSI階級nの総格子数)〕×100



第19図　仮想発電所立地がアラメに及ぼす影響の予測結果

赤色は影響大(-1≦(HSI変化)＜-0.52)，黄色は影響小(-0.52≦（HSI変化）＜-0.04）をそれぞれ示す。



第20図　仮想発電所が岩礁性藻場に及ぼす影響の予測結果

赤色は影響大(-1≦(HSI変化)＜-0.52)，黄色は影響小(-0.52≦(HSI変化)＜-0.04)をそれぞれ示す。仮想発電所の敷地，温排水拡散域等については第19図を参照。

範囲のみの計算結果を抽出して示した(第19図)。なお，仮想発電所立地後に，埋立で場が消失する水域で立地前にアラメが生育している場所については，前述のHSI変化の区分によらず全て影響大とした。影響があるとされた格子数を計数することによって，影響の程度とその面積を示すことが可能である（1格子は20m×20m)。

ケーススタディでは，対象藻場の主要構成種についてアラメと同様にHSIモデルを作成し，検証した。藻場のHSIを求める際には，主要構成種のHSIを相加平均した。藻場への影響は，アラメの場合と同様に立地後藻場HSIと立地前藻場HSIの変化で求めることとした（第20図)。

２．干潟のある海域

１）対象海域の特性（方法書段階）

対象とした豊後高田海域の特性について，海域の類型区分，生態系の構造，生態系の機能の観点から整理した。

(1) 海域の類型区分

豊後高田海域の類型区分について，水域及び底質による区分を用いて整理した（第14表)。沿岸域の底質は岩礁，砂泥（干潟）であり，沖合域の底質は砂泥となっている。その他漁港等の人工護岸が存在する。沿岸域の岩礁にはヒジキ *Sargassum fusiforme*，オゴノリ *Gracilaria vermiculophylla* 等が生育しているが，岩礁性の藻場はみられない。干潟は潮干狩りの場となっており，主にマテガイ *Solen strictus* が採取され，満潮時にはアオギス *Sillago parvisquamis* 等が釣獲されていた。

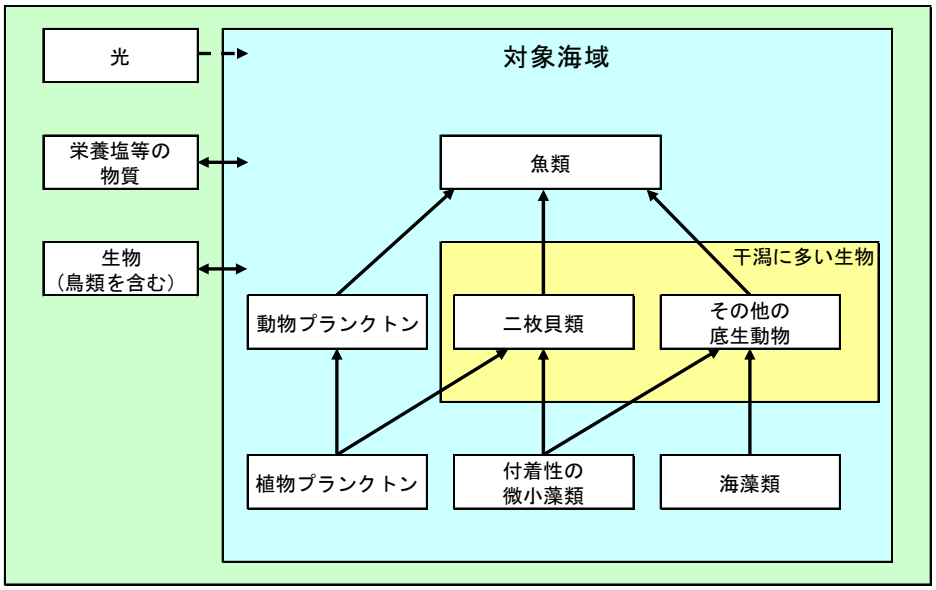
(2) 生態系の構造

対象海域の生態系の構造について，概略的に第21図に示した。対象海域では光や栄養塩類の供給により植物プランクトンが増殖し，植物プランクトンを餌として動物プランクトンが増殖する。この動物プランクトンは魚類稚魚や二枚貝等の餌となる。植物としては植物プランクトンの他に，付着性の微細藻類やオゴノリ等の海藻類があり，微細な藻類は二枚貝や巻貝等底生動物の餌となる。またオゴノリ等の小型海藻も底生動物の餌となる。

ここで注目されるのは，対象海域が干潟を含む砂泥域が広がる海域であり，二枚貝やその他の底

第14表　豊後高田海域の類型区分（方法書段階）

水域	海底基質	備考
沿岸域	岩礁 砂泥	ヒジキ，オゴノリ等が生育。 干潟あり。干潟ではマテガイ等の潮干狩りが行われている。
沖合域	砂泥	底層が貧酸素化した年あり。
漁港等	人工護岸 岩礁 砂泥	



第21図　豊後高田海域の生態系の構造模式図（方法書段階）

対象海域生態系で想定される主な生物の関係及び対象海域内外での光，物質，生物の関係を示した。

生動物（多毛類，甲殻類等）が多く生息し，特にマテガイの密度が高いことである。干潟にはアオギスやシロギス *Sillago japonica*，ナルトビエイ *Aetobatus flagellum*等の魚類が索餌のために来遊し，二枚貝類やその他の底生動物を餌としている。また干潟は鳥類の索餌場となるため，これら底生動物は鳥類の餌ともなる。

(3) 生態系の機能

第15表に，一般的に考えられる海域生態系の機能と対象海域の生態系の機能を対応させて示した。

２）予測項目（候補）の選定（方法書段階）

(1) 注目種・群集の候補選定

海域特性及び仮想発電所の影響を考慮して，第16表のとおり，予測対象となる注目種・群集を選定した。

(2) 注目される生態系機能の候補選定

生態系の機能については，干潟が水質浄化機能を有するとされること，仮想発電所立地により干潟を含む砂泥域の一部が消失することから水質浄化機能に着目する。

３）調査・予測の手法（方法書段階）

方法書には海域生態系だけでなく，「海域に生息する動物」や「海域に生育する植物」等の項目についても調査・予測の手法を記載する。ここでは他の調査項目についてはすでに記載されているものと仮定して，海域生態系の調査・予測手法のみを記載した。

(1) 調査すべき情報

調査すべき情報は，動植物その他の自然環境に係る概況，複数の注目種・群集（オゴノリ，セイ

第15表　豊後高田海域の生態系の機能（方法書段階）

一般的に考えられる海域生態系の機能		対象海域の生態系の機能
大項目	小項目	
物質循環に係わる機能	海水交換，水質浄化，酸素供給，有機物生産	潮の干満差が大きいため，潮流による海水交換も大きいと考えられる。干潟にはマテガイ等の二枚貝が生息するため，高い海水交換率と二枚貝の摂餌による水質浄化機能も高いと考えられる。干潮時の干潟や岩礁域の潮間帯では付着性の微細藻類が増殖することによる酸素供給や有機物生産がなされ，これら藻類はウミニナ等の生物の餌ともなる。対象海域に大型の海藻からなる藻場はみられないが，オゴノリ等の小型の海藻は生育しており，酸素供給，有機物生産に寄与している。
生息場としての機能	産卵場，育成場，索餌場，避難場	干潟や砂泥域は貝類，多毛類，甲殻類等の生息場となっており，満潮時にはアオギスやシロギス等の魚類が索餌のために干潟域に遊泳してくる。また干潮時には鳥類が干潟を索餌場として利用している。
生物多様性の維持機能	種多様性，遺伝的多様性の維持	対象海域には岩礁域，砂泥域，漁港等があり，それぞれの環境に応じた生物が生息していると考えられ，種の多様性を支える機能があると考えられる。特に干潟域では，岩礁域にみられないマテガイ等の二枚貝類や多毛類が生息しており，生物多様性を維持する機能を有していると考えられる。
その他の機能	食料生産	オゴノリ，セイヨウオゴノリ等小型海藻の採取，マテガイ等の潮干狩り，シロギス，クロダイ，スズキ等の漁がなされており，対象海域の生態系は食料生産を支える機能があると考えられる。
	社会・文化的な場の提供	対象海域で行われている漁業や遊漁，潮干狩り，自然体験学習等は社会・文化的な場の提供と考えることができる。

第16表　豊後高田海域の注目種・群集の候補と選定理由（方法書段階）

注目種・群集の候補	選定理由
海藻類 オゴノリ， セイヨウオゴノリ	対象海域には干潟域や岩礁域，人工護岸等があるが，アマモ場や岩礁性の藻場はみられず，干潟域にはセイヨウオゴノリが，岩礁域や転石域にはオゴノリがそれぞれ分布している。対象海域に特徴的なこれら海藻類は浅い水域に生育しており，その分布や生育状況は基質や水深等の環境要因と関係があると考えられる。仮想発電所立地は流況変化や砂の移動を引き起こす可能性があり，海藻類の分布に影響を及ぼすことが想定される。これらの理由により，オゴノリ，セイヨウオゴノリを注目種の候補として選定した。
魚類等遊泳動物 アオギス	アオギスが生息しており，本種は干潟を有する海域の特性をよく表す魚類であると考えられる。仮想発電所立地により，一部の砂泥域が消失するため，アオギスの生息場に影響を及ぼすことが想定される。これらの理由により，アオギスを注目種の候補として選定した。
底生動物 マテガイ，アサリ，ハマグリ	対象海域の干潟にはマテガイ，アサリ，ハマグリ等の二枚貝が生息している。これら貝類は干潟や砂泥域に特徴的な生物であるとともに，海水中の有機物を餌として取り込むことにより，海域を浄化する機能を有する生物と考えることもできる。仮想発電所の立地がこれら生物の分布に変化を与えることにより，浄化機能が影響を受けることが想定される。これらの理由により，マテガイ，アサリ，ハマグリを注目種の候補として選定した。

ヨウオゴノリ *Gracilariopsis lemaneiformis*，アオギス，マテガイ，アサリ *Ruditapes philippinarum*，ハマグリ *Meretrix lusoria*）の生態，他の動植物との関係，生育環境もしくは生息環境の状況，分布等の状況とする。

(2) 調査の基本的な手法

調査の基本的な手法は，文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析とする。

【文献その他の資料調査】

文献その他の資料収集及び必要に応じて注目種・群集等に関する専門家へのヒアリング等を実施し，当該情報を整理，解析する。

【現地調査】

①オゴノリ，セイヨウオゴノリ

植物及び干潟の調査結果を参照するが，両種の分布をより明確に把握するため，オゴノリについては海岸線を踏査し，位置，底質，対象生物の生育の有無を把握する。セイヨウオゴノリについては干潟上を踏査し，位置と対象生物の有無を把握する。

②アオギス

動物の調査結果を参照するが，本種は干潟域に生息すると考えられ，底曳き等の漁獲調査では十分な情報が得られない可能性がある。そのため釣獲調査を実施し，釣獲された種と位置，水深を記録する。

③マテガイ，アサリ，ハマグリ

動物の調査結果,干潟の調査結果を参照するが，干潟沖合については潜水による目視観察，方形枠調査を実施する。

(3) 調査地域

対象事業実施区域及びその周辺区域とする。

(4) 調査地点

注目種・群集の特性を踏まえ，それらの生息又は生育環境に係る環境影響を予測し，評価するために適切かつ効果的な地点又は経路とする。

【現地調査】

①オゴノリ，セイヨウオゴノリ

植物の調査測線に同じ。なお両種の分布特性を考慮し，オゴノリについては海岸線を連続的に踏査し，セイヨウオゴノリについては干潟上を連続的に踏査する補完調査を実施する。

②アオギス

動物の調査地点に同じ。アオギスの分布を推定するための釣獲調査は干潟及び干潟沖合の砂泥域とする。

③マテガイ，アサリ，ハマグリ

動物の調査地点に同じであるが，干潟沖合については潜水目視観察，方形枠調査のための測線を設ける。

(5) 調査期間等

調査期間等については，注目種・群集候補の特性を踏まえ，それらの生息又は生育環境に係る環境影響を予測し，評価するために適切かつ効果的な期間，時期及び時間帯とする。

【現地調査】

①オゴノリ，セイヨウオゴノリ

植物の調査に同じであるが，補完的な踏査は春季に実施する。

②アオギス

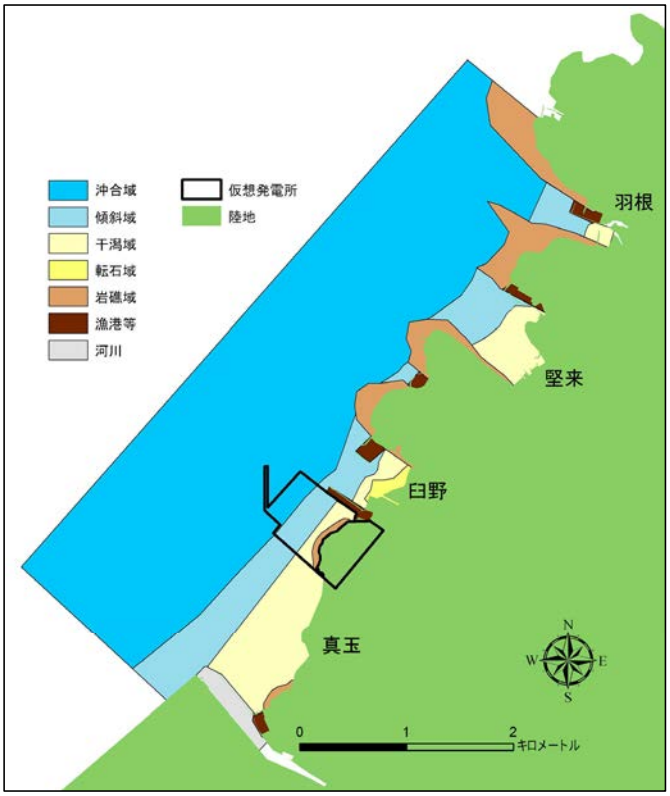
基本的には動物の調査に同じであるが，釣獲調査についてはアオギスが出現する春季，夏季とする。

③マテガイ，アサリ，ハマグリ

動物および干潟の調査に同じであるが，沖合の目視観察，方形枠調査は春季に実施する。

(6) 予測の基本的な手法

注目種・群集候補について，分布または生息も



第22図　豊後高田海域の類型区分図（準備書段階）

しくは生育環境の改変の程度を把握した上で，事例の引用又は解析を行う。解析を行う場合は注目種・群集の分布と環境要素の変化域を重ね合わせて，影響の程度と面積を予測する。なお対象海域が有する浄化機能については対象海域に生息するマテガイ等のろ水量及び現存量，海水の有機物量等を調査して予測する。

(7) 予測地域

調査地域のうち，注目種・群集候補の特性を踏まえ，注目種・群集の生息又は生育環境に係る環境影響を受けるおそれがある地域を予測地域とする。

(8) 予測対象時期等

予測対象時期は,仮想発電所の建設等が完成し，定常運転となった時点とし，注目種・群集の特性を踏まえ，注目種・群集の生息又は生育環境に係る環境影響を的確に把握できる時期とする。

4）対象海域の特性再整理（準備書段階）

対象海域の特性については，海域の類型区分，生態系の構造，機能の観点から整理した。

(1) 海域の類型区分

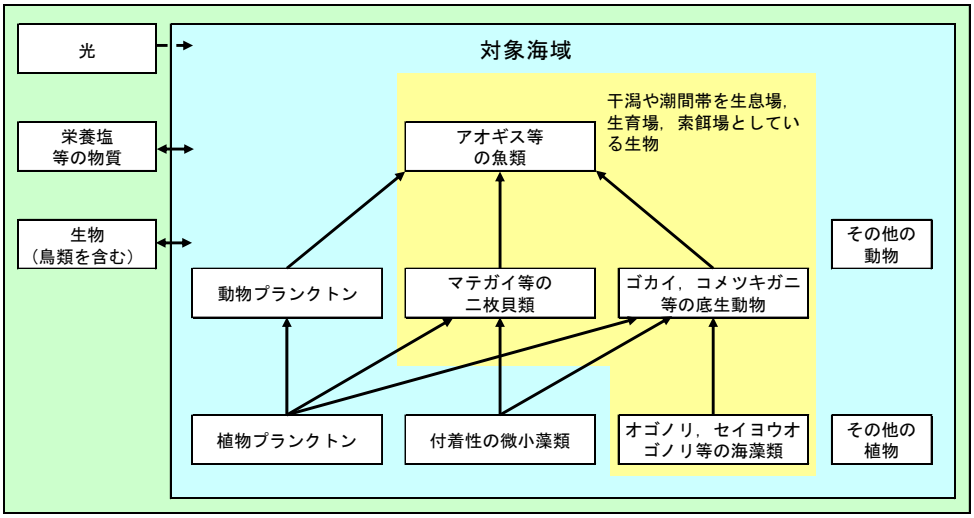
第22図に海域の類型区分図を示した。海域類型には水域区分（沿岸域，沖合域等）と底質の状況を用いた。第17表に海域の類型区分と生息する生物の特徴等を示した。対象海域には4干潟（真玉，臼野，堅来，羽根）がある。同じ干潟に区分されていても，4干潟間では生物分布に類似点，相違点がみられた。

(2) 生態系の構造

第23図に対象海域の生態系の構造模式図を示した。ここでは動植物プランクトンも構成要素であるが，対象海域には干潟や岩礁域の潮間帯が広がっており，様々な生物が生息する。干潟にはマテガイ等の二枚貝類，ゴカイ類やコメツキガニ *Scopimera globosa* 等が高密度に生息している。植物としてはセイヨウオゴノリの生育が確認されて

第17表　豊後高田海域の類型区分と生物の特徴（準備書段階）

海域の類型区分		生物の特徴等
砂泥域	沖合域	水深7m以深の平坦域。底生動物としては，チヨノハナガイ，イヨスダレガイ，サクラガイ，ハスノハカシパン，スナヒトデ等が確認されている。魚類ではシロギス，シログチ，オキヒイラギ，ハタタテヌメリ，アカエイ，ツバクロエイ等が底引き網調査で確認されており，スズキ，クロダイ等も漁獲されている。過去に底層が貧酸素化した年がある。
	傾斜域	干潟の前置斜面で水深0～7m。バカガイ，マテガイの生息密度が高い。ただしバカガイはナルトビエイの食害を受けて夏季には確認されなかった。ムギワラムシ（ツバサゴカイ科の多毛類）もみられる。海藻草類はみられない。春～秋季の干潮時には汀線から水深2mあたりにアオギスが出現する。満潮時にはアオギスは干潟域へ移動するようであるが，シロギスは傾斜域に多く確認された。
	干潟域	対象海域には4干潟（真玉，臼野，堅来，羽根）があるが，どの干潟でも，二枚貝ではマテガイの密度が高い。アサリは臼野干潟の一部で放流されているが，他の干潟にはほとんど生息していない。ハマグリは真玉干潟の岸側で確認されたが，密度は極めて低く，方形枠調査では出現していない。その他の二枚貝は，真玉や堅来干潟の岸寄りにシオフキガイがみられた。また春季には真玉干潟の沖よりにバカガイが生息していたが，夏季には観察されなかった。聞き取り調査等によればナルトビエイによる食害が大きく，夏季の干潟上にはナルトビエイの索餌跡がよく見られる。 4干潟とも干潟の岸側から中央にかけてコメツキガニの密度が高い。 真玉干潟ではセイヨウオゴノリがスゴカイイソメの棲管を付着基質として生育している状況が観察されたが，他の干潟ではみられなかった。 4干潟のほぼ全域でムギワラムシの棲管が観察され，特に真玉干潟の干潟中央部から沖よりでは，局所的に非常に高い密度で生息する場所がみられた。 魚類では，真玉干潟と堅来干潟でアオギスが確認されたが，他の干潟では確認されていない。その他の魚類としてはシロギス，クサフグ，スズキ幼魚等がいずれの干潟でも確認されている。干潮時の澪では，季節に関わらずヒメハゼが観察されたが，シロギスは夏季に，シラウオは冬季にそれぞれ観察された。
転石域		臼野干潟の岸よりは転石域となっており，聞き取り調査によればアサリが放流されており，アサリが潮干狩りの対象種となっている。オゴノリが生育する。
岩礁域		海藻類ではアオサ属，ウミトラノオ，ヒジキ，オゴノリ等が生育し，一部は漁業の対象となっているが，大型海藻の藻場は確認されていない。潮間帯にはタマキビガイ，スガイ，ウミニナ等の巻貝類，ホンヤドカリ，イソガニ等の甲殻類が観察された。
漁港域		人工護岸には，海藻類ではヒジキ，アオサ属，マクサ，クロメ等が，付着性の動物としてはイワフジツボ，クロフジツボ，サンカクフジツボ，オオヘビガイ等が観察された。魚類はクロダイ，クサフグ，シロギス等が確認された。
河川		4干潟にはそれぞれ小河川があり，淡水が流入するが，夏季には渇水，利水の影響で流れがほとんどみられない場合もある。聞き取り調査によれば，真玉干潟の西に位置する真玉川河口では希にアサリが出現する年がある。河口の転石やコンクリートにはオゴノリが確認された。



第23図　豊後高田海域の生態系の構造模式図（準備書段階）

対象海域生態系で想定される主な生物の関係及び対象海域内外での光，物質，生物の関係を示した。

第18表　豊後高田海域の生態系の機能（準備書段階）

一般的に考えられる海域生態系の機能		対象海域の生態系の機能
大項目	小項目	
物質循環に係わる機能	海水交換，水質浄化，酸素供給，有機物生産	対象海域は潮の干満の差が大きいため，潮流による海水交換も大きいと考えられる。 干潟にはマテガイ，シオフキガイ等の二枚貝が生息するため，二枚貝類の摂餌による水質浄化機能も高いと考えられる。現地調査では，干潟域にムギワラムシ（ツバサゴカイ科の多毛類）が高密度で出現しており，この生物も水中の有機物を餌とすることから，水質浄化に寄与する生物と考えられる。 干潮時の干潟や岩礁域の潮間帯では付着性の微細藻類が増殖することによる酸素供給や有機物生産がなされ，これら藻類はウミニナ，コメツキガニ等の生物の餌ともなる。対象海域に大型の海藻からなる藻場はみられないが，オゴノリ等の小型の海藻は生育しており，酸素供給，有機物生産に寄与している。
生息場としての機能	産卵場，育成場，索餌場，避難場	対象海域の干潟や砂泥域は貝類，多毛類，甲殻類等の生息場となっており，満潮時にはアオギスやシロギス等の魚類が索餌のために干潟域に遊泳してくる。アオギスは干潟域に特徴的な魚類であるため，このような魚類にとって干潟の生息場機能は重要な意味を持つと考えられる。また干潮時には鳥類が干潟を索餌場として利用していると考えられる。
生物多様性の維持機能	種多様性，遺伝的多様性の維持	岩礁域，砂泥域，漁港等があり，それぞれの環境に応じた生物が生息していると考えられ，種の多様性を支える機能があると考えられる。特に干潟域には他の場所にみられないコメツキガニやゴカイ類，セイヨウオゴノリなどが生息，生育しており，種の多様性を維持する機能を有していると考えられる。
その他の機能	食料生産	オゴノリ，セイヨウオゴノリ等小型海藻の採取，マテガイ等の潮干狩り，シロギス，クロダイ，スズキ等の漁がなされており，対象海域の生態系は食料生産を支える機能があると考えられる。
	社会・文化的な場の提供	対象海域で行われている漁業や遊漁，潮干狩り，自然体験学習等は社会・文化的な場の提供と考えることができる。

いる。また岩礁域の潮間帯や転石域，河口近くのコンクリートブロック等にオゴノリの生育がみられる。魚類としてはアオギス等が干潟域を索餌場としており，マテガイの水管，稚貝，ゴカイ類等を餌としている。また干潟は鳥類の索餌場ともいわれ，干潟に生息する生物は鳥類の餌ともなると考えられる。

(3) 生態系の機能

第18表に対象海域の生態系の機能について整理した。

5）予測項目（準備書段階）

(1) 注目種・群集

第19表に対象海域の注目種と，その選定理由を示した。

(2) 注目される生態系の機能

注目される生態系の機能として干潟の浄化機能を選定した。対象海域には干潟があり，マテガイ，ムギワラムシ *Mesochaetopterus japonicus* が高密度に生息している。これらの生物はろ過食性であり，海水中の有機物をろ過し餌として利用してい

第19表　豊後高田海域の注目種と選定理由（準備書段階）

注目種の候補 （方法書）	注目種 （準備書）	選定理由
海藻類 オゴノリ セイヨウオゴノリ	オゴノリ セイヨウオゴノリ	対象海域には干潟域や岩礁域，人工護岸等があるが，アマモ場や岩礁性の藻場はみられず，干潟域にはセイヨウオゴノリが，岩礁域や転石域にはオゴノリがそれぞれ分布している。対象海域に特徴的なこれら海藻類は浅い水域に生育しており，その分布や生育状況は基質や水深等の環境要因と関係があると考えられる。仮想発電所立地は流況変化や砂の移動を引き起こす可能性があり，海藻類の分布に影響を及ぼすことが想定される。これらの理由により，方法書では，オゴノリ，セイヨウオゴノリを注目種の候補とした。 現地調査により，オゴノリ，セイヨウオゴノリの生育が確認され，対象海域の一部がこれら生物の生育場となっていることが明らかとなったため，準備書においては，注目種として位置づけ，影響予測の対象とした。
魚類等遊泳動物 アオギス	アオギス	聞き取り調査によれば，対象海域にはアオギスが生息しているとされる。アオギスは干潟に特徴的な魚類であり，干潟を有する対象海域の特性をよく表す魚類であると考えられる。仮想発電所立地により，一部の砂泥域が消失するため，アオギスの生息場に影響を及ぼすことが想定される。これらの理由により，方法書ではアオギスを注目種の候補とした。 現地調査により，アオギスの生息が確認され，対象海域の干潟がアオギスの生息場・索餌場となっていることが明らかとなったため，準備書において注目種として位置づけ，影響予測の対象とした。
底生動物 マテガイ アサリ ハマグリ	マテガイ コメツキガニ ムギワラムシ	対象海域の干潟にはマテガイ，アサリ，ハマグリ等の二枚貝が生息していると考えられる。これら貝類は干潟や砂泥域に特徴的な生物であるとともに，海水中の有機物を餌として取り込むことにより，海域を浄化する機能を有する生物と考えることもできる。仮想発電所の立地がこれら生物の分布に変化を与えることにより，浄化機能が影響を受けることが想定される。これらの理由により，方法書ではマテガイ，アサリ，ハマグリを注目種の候補とした。 現地調査では，マテガイは場所により高密度に観察されたが，アサリは全く出現しなかった。またハマグリは生息しているようであるが，枠取り調査等では出現せず，密度は極めて低いと判断された。このため，準備書においてはアサリとハマグリについては注目種としなかった。一方，対象海域の干潟にはコメツキガニが高密度で生息していた。専門家の聞き取り調査により，コメツキガニは鳥類や魚類の餌ともなり，物質循環の観点から考えても注目種として予測すべきと考えられた。また対象海域の干潟域にはムギワラムシ（ツバサゴカイ科の多毛類）が高密度で生息しており，この生物はマテガイと同じく水中の有機物を餌として取り込むことから，海域を浄化する機能を有すると考えられ，注目種に加えた。

第20表　豊後高田海域ケーススタディの仮想発電所条件及び調査・予測の概要

項目	概要
仮想発電所条件 （コンバインドサイクル発電を想定）	埋立（39ha），防波堤設置（400m） 温排水（25m^3/秒×2，表層放水，7℃上昇，取水温度は平均26℃）
環境要因の調査 海岸地形 水深 底質 流況 風向・風速 水温（定点連続観測） 水温・塩分	 航空写真，デジタル地図等 マルチビーム音響測深結果 サイドスキャン，採泥，潜水目視観察結果 2007年8月9日～8月28日調査結果 中津測候所データ1997～2007年 実測：2007年5月～2009年8月 2007年8月9日調査結果
注目種・群集の調査 アオギス マテガイ，コメツキガニ，ムギワラムシ オゴノリ，セイヨウオゴノリ	 釣獲調査結果 生物分布調査結果 目視観察結果
生態系機能の調査 浄化機能	 チャンバーを用いた現地実験
環境要因の予測 水温予測 波浪予測 地形変化予測	 準三次元モデル エネルギー平衡方程式（土木学会海岸工学委員会，1994） 等深線変化モデル（土木学会海岸工学委員会，1994）
注目種・群集への影響予測方法	生息場適性指数（HSI）モデル：文献調査結果から作成し，生物分布調査結果及び一部温度耐性実験結果を用いて修正したモデル（アオギス，マテガイ，コメツキガニ，オゴノリ，セイヨウオゴノリ，ムギワラムシ）を用い，地理情報システム（GIS）上に20m×20mの計算格子を作成して，仮想発電所立地前後のHSIを計算。考慮した環境要因は，底質，水深，波高，水温。
生態系機能に関する影響予測方法	埋立による場の消失が浄化機能に及ぼす影響を予測。

る。そのため，海水を浄化する機能を担っていると考えられる。仮想発電所立地のための埋立がこれら生物の生息に影響し，海域の水質浄化機能を損なう懸念がある。

６）予測方法と結果（準備書段階）

(1) 予測方法

①予測に用いたデータ

第20表にケーススタディで想定した仮想発電所条件と実施した調査・予測の概要を示した。

②予測の過程と予測方法

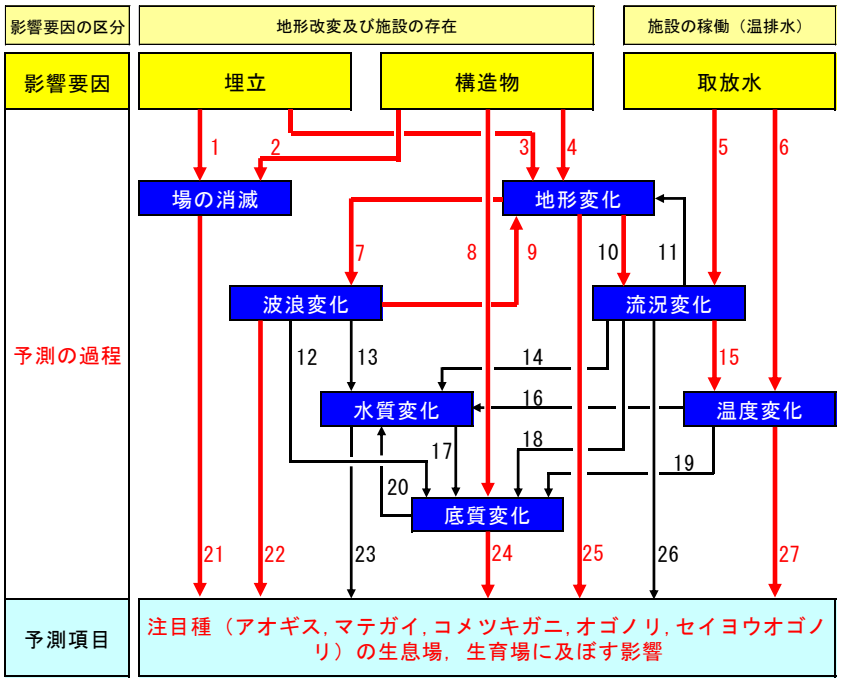
ｉ．注目種（アオギス，マテガイ，コメツキガニ，オゴノリ，セイヨウオゴノリ）

第24図に注目生物であるアオギス，マテガイ，コメツキガニ，オゴノリ，セイヨウオゴノリの生息場，生育場に及ぼす影響について，予測の過程を示した。

アオギスは干潟域に生息し，潮の干満とともに移動して索餌する魚類である。マテガイは干潟やその沖合の浅い水域の砂泥底に生息し，海水中の植物プランクトン等をろ過して摂餌する二枚貝である。コメツキガニは主に干潟の中央部から岸側に生息し，干潟が干出すると砂泥から出て底泥中の微細藻類等を摂餌する。オゴノリは岩礁域やコンクリートに出現する海藻類である。また，セイヨウオゴノリは干潟に生息するスゴカイイソメ *Diopatra sugokai* の棲管等に着生して成長する海藻類である。

ここでは，これら生物の特性から考慮して，場の消滅影響の他，地形変化（水深の変化），温度変化，底質変化が重要である。水質も注目生物に影響する（第24図中の23，以下図中の番号のみ記す）と考えられるが，水質変化予測では仮想発電所の取放水が水質をほとんど変化させなかった（三浦，未発表）ことから，予測の過程からは除外した。底質変化については，構造物によって砂泥底がコンクリートに改変されることを考慮する（8，24）が，有機物含有量等の底質については予測が困難であるため対象としなかった。波浪変化については，波高分布の計算結果と生物分布の調査結果との間に関係性が認められること，埋立や構造物の設置により波高が変化する水域が出現することから予測の対象とした。また，取放水による流況変化，温度変化を予測の対象とした。

各注目種について，適性指数（SI）モデル（例，第25図及び技術資料を参照）を作成し，仮想発電所立地前と立地後の生息場適性指数（HSI）をそれぞれ計算するとともに，それらの変化（立地後HSI−立地前HSI）も求めた。HSIは水深，底質，水温，波高のそれぞれの適性指数（SI）を相乗平均することによって求めた（次式）。



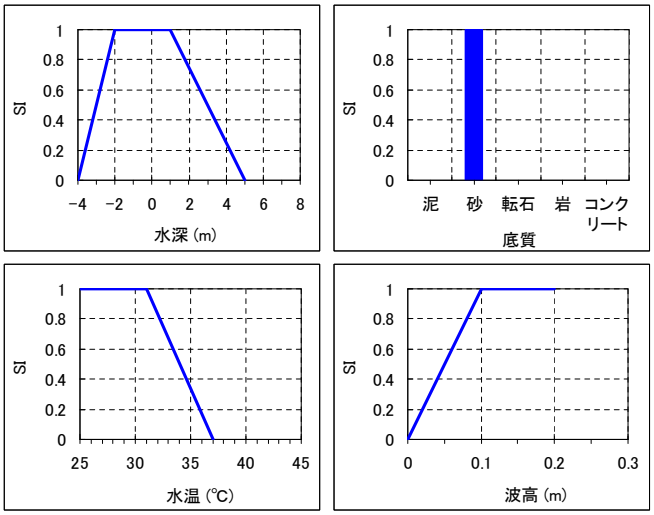
第24図　注目種（アオギス，マテガイ，コメツキガニ，オゴノリ，セイヨウオゴノリ）の生息場，生育場に及ぼす影響の予測過程（赤色矢印）

HSI＝〔(水深SI) × (底質SI) × (水温SI) × (波高SI)〕$^{1/4}$

HSIの計算では，潮位（時刻）条件や水温条件を変えた複数ケースが可能である。後述する予測結果では，アオギスについては満潮時，干潮時それぞれの計算結果を示した。HSIの変化については次式で求めた。

HSI変化＝（立地後HSI）－（立地前HSI）

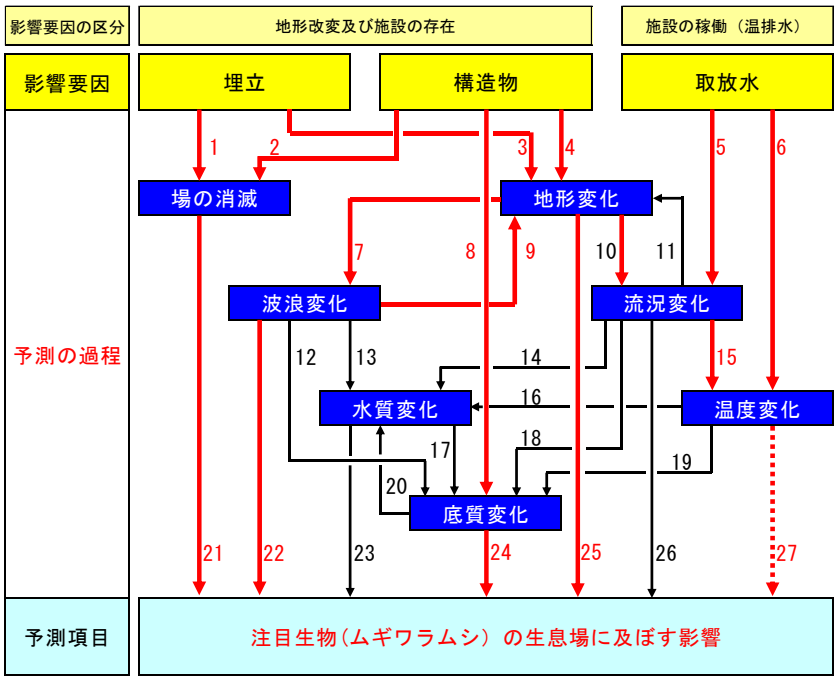
立地後HSI，立地前HSIはともに0～1の値を取るため，HSI変化は-1～1の範囲となる。ここで，HSI変化が負の値を示す場合にはマイナスの影響があり，HSI変化が正の値を示す場合には適性が上昇してプラス影響があると考えることができる。理論的にはHSI変化が0である場合に変化なしと考えられるが，波高変化予測や地形変化予測における場のわずかな変化もHSIに影響する。ここでは影響の概要を把握するため，影響なしの範囲をHSI変化±0.01とした。藻場の場合には影響なしの範囲を±0.04としたが，このような違いは波高や地形変化予測の計算精度によって生じる。ここでは仮に，次のようにマイナス影響，プラス影響ともに大小の2段階に区分けしたが，より細かく区分けすることも可能である。



第25図　HSIモデルを構成するSIモデルの例（アオギス）

HSI低下　大：-1.00 ≦（HSI変化）＜-0.50・・・マイナス影響大
HSI低下　小：-0.50 ≦（HSI変化）＜-0.01・・・マイナス影響小
HSI変化なし：-0.01 ≦（HSI変化）≦ 0.01・・・影響なし
HSI上昇　小：　0.01 ＜（HSI変化）≦ 0.50・・・プラス影響小
HSI上昇　大：　0.50 ＜（HSI変化）≦ 1.00・・・プラス影響大

注目種毎のHSI算出や立地前後でのHSI変化は，



第26図　注目種（ムギワラムシ）の生息場に及ぼす影響の予測過程（赤色矢印）

すべて地理情報システム上の計算格子（20m×20m）を用いて算出した。仮想発電所立地前後でHSIが低下する水域等の面積を算出する場合は，該当する水域の格子数に400m^{2}を乗じて求めることができる。

ⅱ．注目種（ムギワラムシ）

第26図に注目生物であるムギワラムシの生息場に及ぼす影響について予測の過程を示した。ムギワラムシはツバサゴカイ科の多毛類で，主に干潟の中央部から干潟沖合の浅い砂泥底に棲管を作り生息しており，植物プランクトン等をろ過して摂餌する。ムギワラムシの生態から考えて，マテガイ等と同じく場の消滅，地形変化（水深変化），底質変化，波浪変化，温度変化がそれぞれ影響すると考えられる。今回，ムギワラムシの高温耐性の情報を得ることができなかったため，温度影響は予測しなかった（第26図中の27）が，実際の環境影響評価では実験的な手法を用いるなど温度影響を予測することが望ましい。ムギワラムシへの仮想発電所立地の影響は，水温を除いた底質，水深，波高のSIモデル（技術資料参照）からなるHSIを算出して求めることとした（次式）。仮想発電所立地前後のHSI変化はマテガイ等と同様に算出した。

$$HSI = 〔(水深SI) \times (底質SI) \times (波高SI)〕^{1/3}$$

ⅲ．生態系の機能

第27図に干潟の浄化機能に及ぼす影響を予測する過程について示した。干潟の浄化機能は，対象干潟域に生息するマテガイとムギワラムシのろ水量から算出することとした。浄化機能の計算には，それぞれの生物の現存量が必要であるが，将来の現存量を予測することは困難である。そこで，単位面積あたりの現存量は仮想発電所立地後も変化しないと仮定して，浄化機能が，一部の場の消滅によりどの程度低下するかを予測することとした。

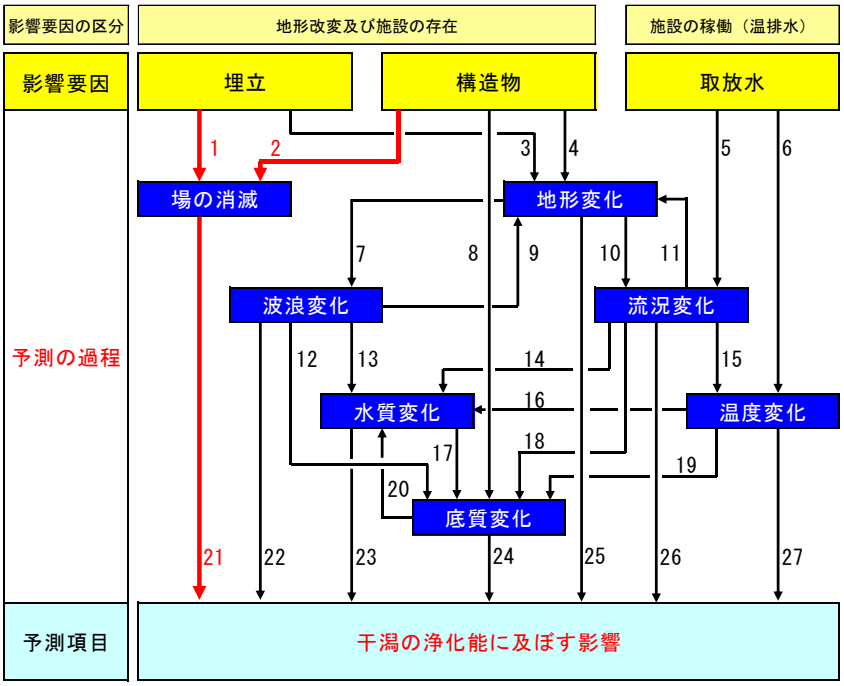
(2) 予測結果

①アオギス

第28図にアオギスの分布調査結果の一例（真玉干潟域，5月期，満潮時）を示した。干潮時等の他の調査結果も合わせると，春から秋にかけてアオギスは干潟及び傾斜域に分布するが，分布の中心は水深1m以浅と考えられ，特に干潮時には汀線近くで多く確認されている。アオギスについての予測結果を第29図（満潮時条件）と第30図（干潮時条件）に示した。ここでは影響域の概要を示したが，影響面積も格子数を計数することによって容易に算出できる。

【満潮時条件】

潮位を満潮，温度を月平均の最高値（取水水温の日平均が約26℃に相当）に設定した計算結果を



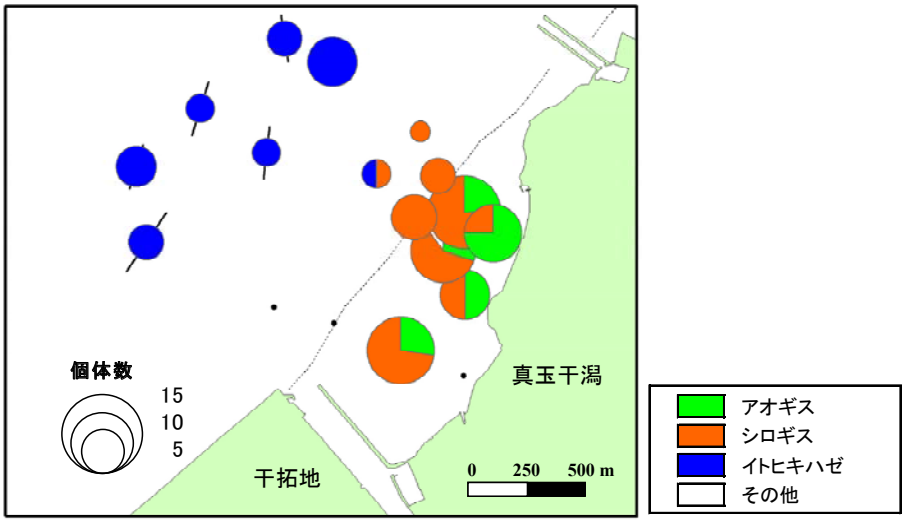
第27図　干潟の浄化機能に及ぼす影響の予測過程（赤色矢印）

第29図に示した。

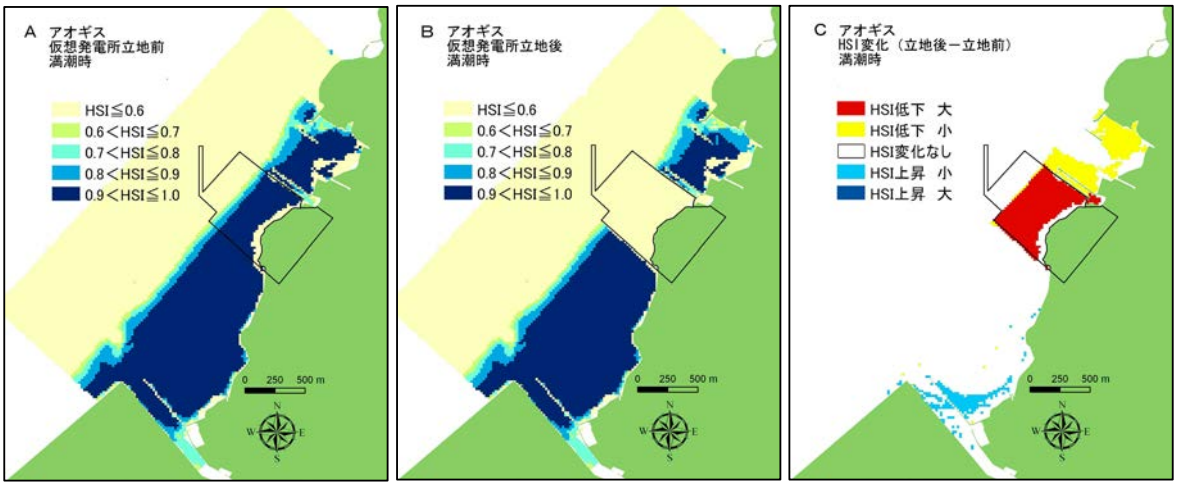
仮想発電所立地の埋立により場が失われるため，その水域の立地後HSIは0となった。また仮想発電所の北側では，波高が低減するため立地後HSIはわずかに低下する結果となった。仮想発電所の南側ではHSIの変化はほとんどないが，干潟の奥で波高が高まるため立地後HSIはわずかに上昇した。アオギスの高温側の水温SIは31℃でSI=1，37℃でSI=0に設定されており，温排水の影響はみられなかった。

【干潮時条件】

潮位条件を干潮時，温度条件を月平均の最高（取水水温の日平均が約26℃に相当）に設定した結果を第30図に示した。干潮時では干潟域に海水がなく，アオギスの生息場は干潟の沖に限られる。埋立によるHSIの低下や仮想発電所の北側におけるHSI低下傾向は満潮時の条件とほぼ同様であった。一方，仮想発電所の南側では，温排水が干潟沖に拡散することにより水温が31℃を超える水域が出現してアオギスの立地後HSIがやや低下した。



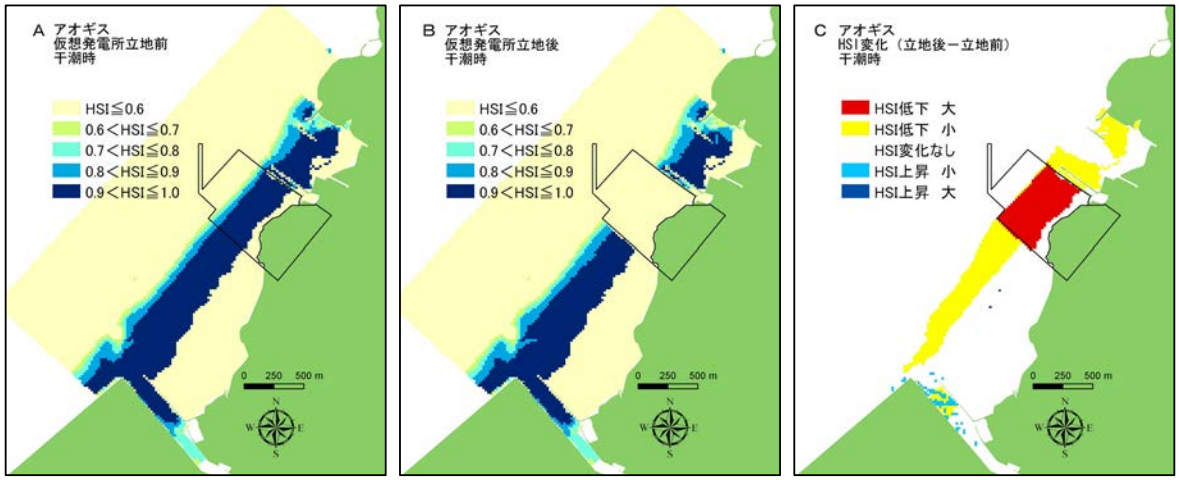
第28図　アオギスの釣獲調査（各地点，3名，25分）結果の一例（2008年5月実施）



第29図　アオギス影響予測結果（満潮時）

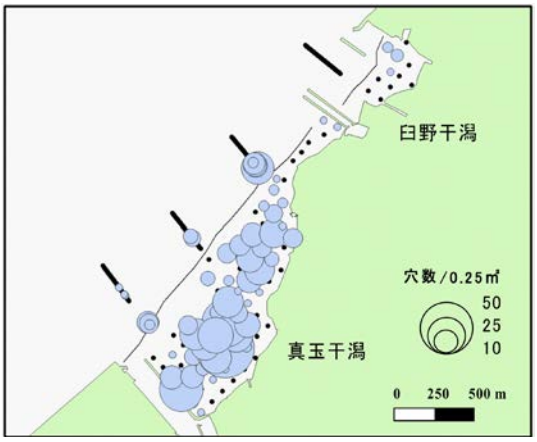
Ａは仮想発電所立地前のアオギスHSI，Ｂは仮想発電所立地後のアオギスHSI，Ｃは仮想発電所立地前後のアオギスHSI変化をそれぞれ示す。潮位条件は満潮時（午前9時），海水の温度条件は月平均の最高（取水水温の日平均が26℃に相当）である。

HSI低下　大：-1.00≦（HSI変化）＜-0.50　HSI低下　小：-0.50≦（HSI変化）＜-0.01
HSI変化なし：-0.01≦（HSI変化）≦ 0.01　HSI上昇　小：0.01＜（HSI変化）≦ 0.50
HSI上昇　大：0.50＜（HSI変化）≦ 1.00



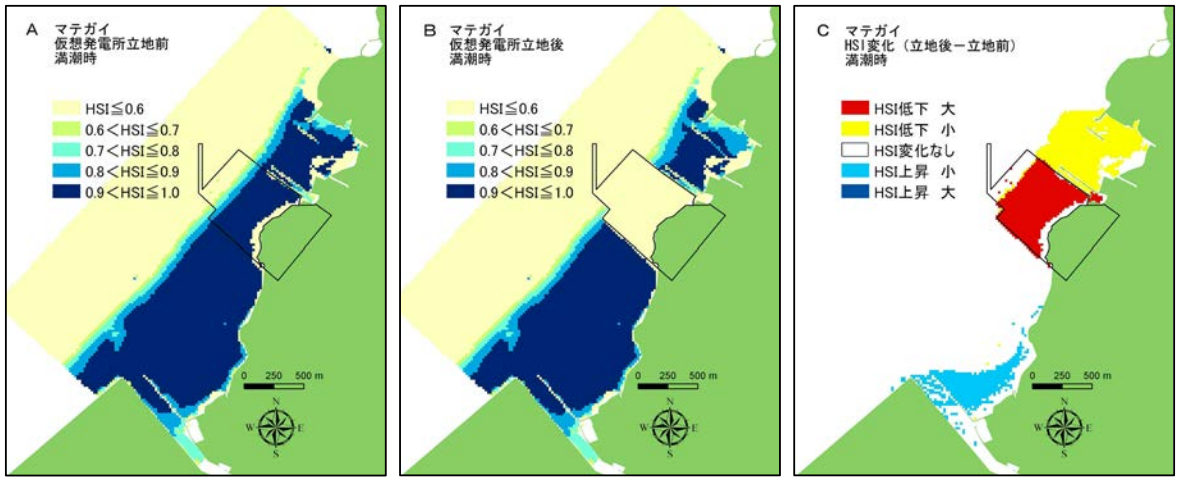
第30図　アオギス影響予測結果（干潮時）

Ａは仮想発電所立地前のアオギスHSI，Ｂは仮想発電所立地後のアオギスHSI，Ｃは仮想発電所立地前後のアオギスHSI変化をそれぞれ示す。潮位条件は干潮時（午後3時），その他の条件及びHSIの凡例は第29図に同じ。



第31図　マテガイの分布（2008年8月実施）

図中の黒点（・）は干潟上の調査点を示す。直線（－）は沖合の調査測線を示す。マテガイの生息穴数を計数して分布を示した。



第32図　マテガイ影響予測結果

Ａは仮想発電所立地前のマテガイHSI，Ｂは仮想発電所立地後のマテガイHSI，Ｃは仮想発電所立地前後のマテガイHSI変化。計算条件等は第29図に同じ。

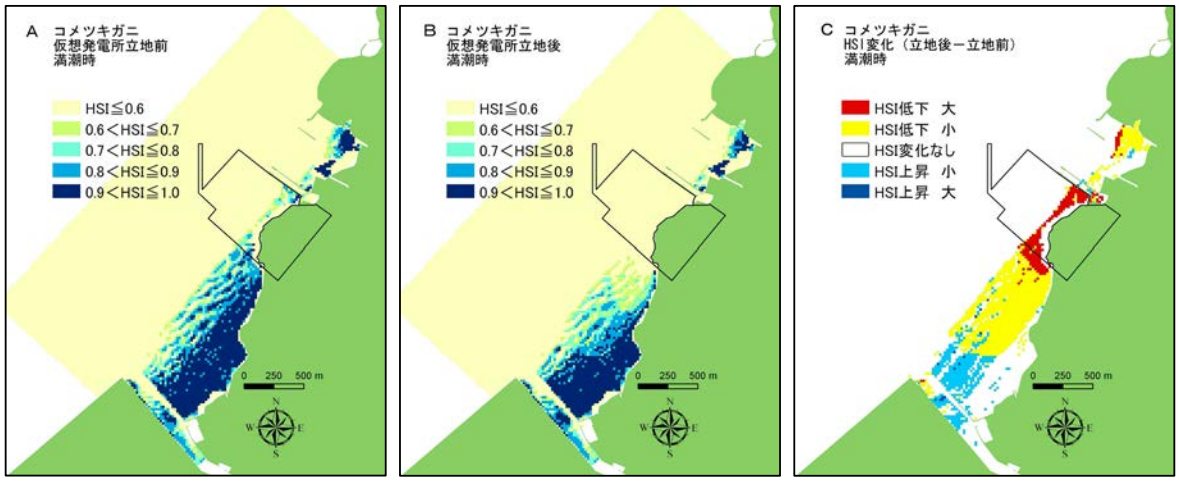
②マテガイ

第31図にマテガイの分布調査結果（生息穴を計数する方法による）の一例（真玉干潟,臼野干潟,2008年8月実施）を示した。潜水目視調査結果も考慮すると，本種の分布は干潟及び傾斜域であるが，高密度に出現する場所は干潟及び水深2m以浅であった。

潮位を満潮，温度を月平均の最高（取水水温の日平均が約26℃に相当）に設定した計算結果を第32図に示した。仮想発電所の埋立により場が失われるため，その水域のマテガイの立地後HSIは0となった。また仮想発電所の北側では波高が低減し，アオギスよりも広い範囲で立地後HSIはわずかに低下した。仮想発電所の南側では，干潟の奥で波高が高まるためわずかに上昇した。仮想発電所の温排水による昇温影響はみられなかった。

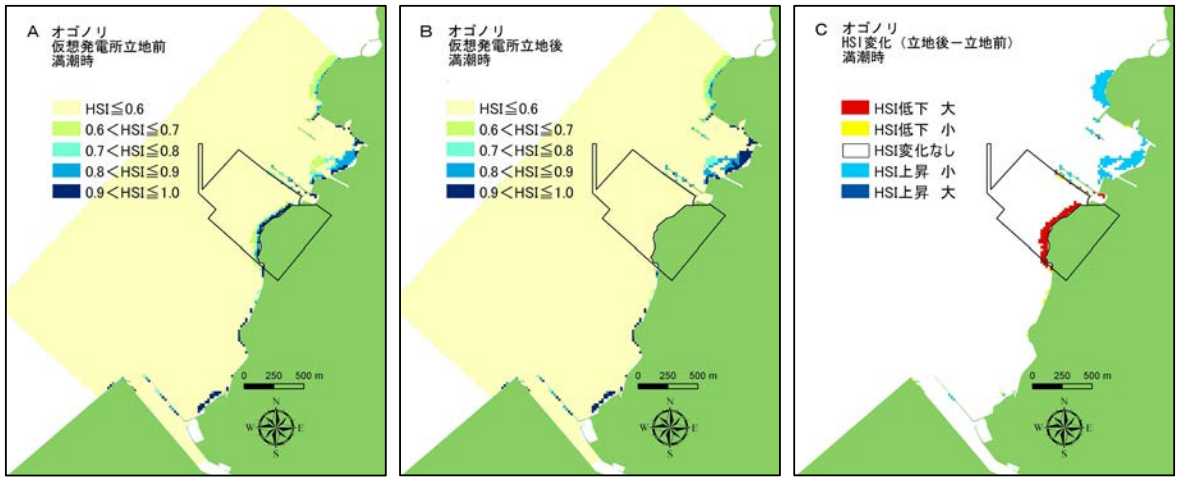
③コメツキガニ

コメツキガニは干潟上に分布し，干潟の中央部から岸側に高密度で出現する。コメツキガニHSI計算結果を第33図に示した。仮想発電所埋立地の立地後HSIは0であり，仮想発電所南側のごく近傍では波高が本種の適性よりも高く，また北側では低いため，それぞれ立地後HSIが低下した。仮想発電所の南側では水深がやや浅くなり，立地後HSIがわずかに上昇した場所もみられた。仮想発電所温排水による昇温影響はみられなかった。



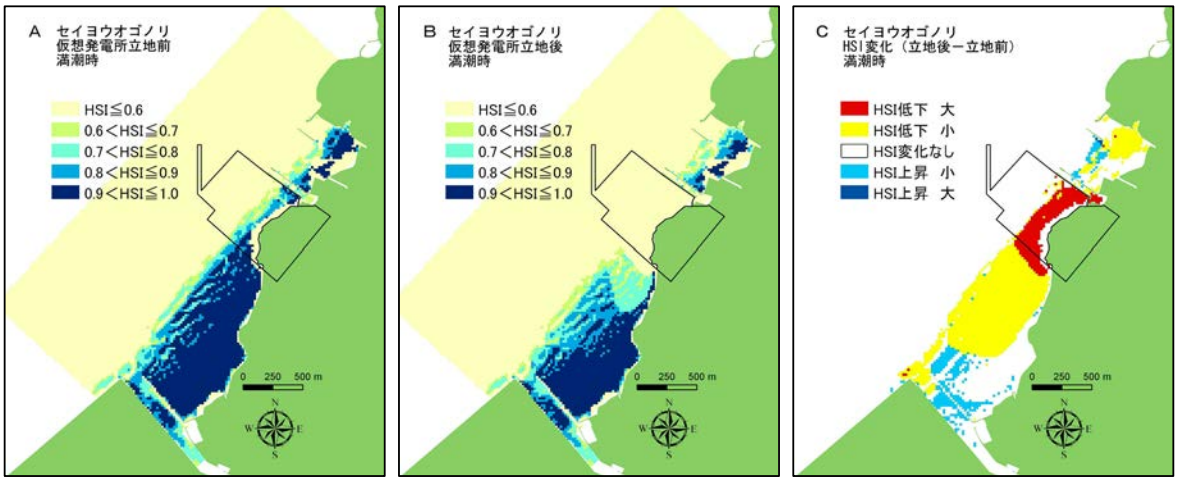
第33図　コメツキガニ影響予測結果

Aは仮想発電所立地前のコメツキガニHSI，Bは仮想発電所立地後のコメツキガニHSI，Cは仮想発電所立地前後のコメツキガニHSI変化。計算条件等は第29図に同じ。



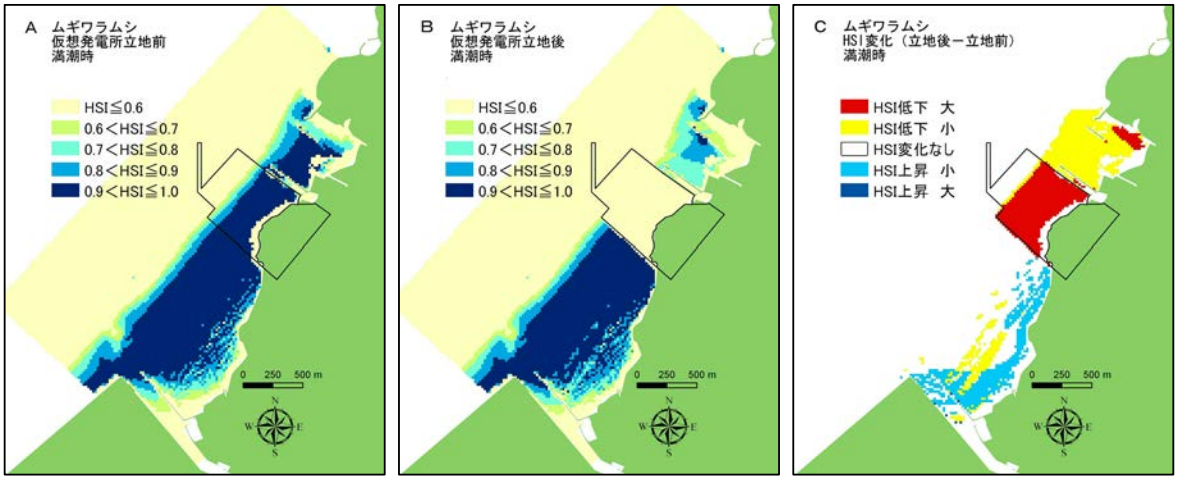
第34図　オゴノリ影響予測結果

Aは仮想発電所立地前のオゴノリHSI，Bは仮想発電所立地後のオゴノリHSI，Cは仮想発電所立地前後のオゴノリHSI変化。計算条件等は第29図に同じ。



第35図　セイヨウオゴノリ影響予測結果

Ａは仮想発電所立地前のセイヨウオゴノリHSI，Ｂは仮想発電所立地後のセイヨウオゴノリHSI，Ｃは仮想発電所立地前後のセイヨウオゴノリHSI変化。計算条件等は第29図に同じ。



第36図　ムギワラムシ影響予測結果

Ａは仮想発電所立地前のムギワラムシHSI，Ｂは仮想発電所立地後のムギワラムシHSI，Ｃは仮想発電所立地前後のムギワラムシHSI変化。HSIの算出には水深，底質，波高を用いており，温度は含まれない。

④オゴノリ

オゴノリは岸線付近の岩礁域，転石域に分布する。オゴノリについての予測結果を第34図に示した。埋立地では消滅するが，仮想発電所の北側では波高が低下し，本種の適性が高まる結果となった。仮想発電所温排水の昇温影響はみられなかった。

⑤セイヨウオゴノリ

本種は干潟の澪に生育していた。第35図に影響予測の結果を示した。仮想発電所埋立地では消滅し，発電所南側のごく近傍から干潟の中央部にかけては，波高が本種の適性よりも高くなるため立地後にはHSIが低下した。また，発電所南側の干潟では，水深が浅くなりHSIが上昇する場所がみられた。温排水による昇温影響はみられなかった。

⑥ムギワラムシ

本種は干潟及び傾斜域に生息し，分布の中心は水深-1～1m付近である。ムギワラムシについての影響予測結果を第36図に示した。仮想発電所埋立地では消滅し，仮想発電所の北側では波高の低下によりHSIが低下した。一方，仮想発電所の南側では，波高が高くなることでHSIが上昇し，また一部では水深が浅くなることによりHSIが低下した。

⑦生態系の構造模式図からみた影響

仮想発電所立地により，場の消滅，波浪環境の

変化，砂の移動による水深変化，温排水による温度変化等が生じる。これらの要因は注目種に影響を及ぼすが，最も重要な影響要因は埋立による場の消滅である。特に干潟域の一部が埋め立てられるため,そこに生息するマテガイやコメツキガニ，ムギワラムシ等のゴカイ類の生息場が一部失われる。これら生物は，魚類の胃内容分析により，アオギスやシロギスの餌生物であることが判明している。したがって，場の消滅はマテガイ等の底生生物の減少をもたらし，アオギス等魚類の餌の減少につながると考えられる。また岩礁域の一部も埋立により消失するが，これによりオゴノリの生育場も減少すると考えられる。

⑧生態系の機能（浄化機能）

干潟の浄化機能は，マテガイとムギワラムシが海水中のPOC（粒子状有機炭素）とPON（粒子状有機窒素）を取り込む量を指標とした。浄化機能の算出には，両種のろ水量，推定現存量，生息域の面積，海水中のPOCおよびPONの各データを用いた。なお，ろ水量はマテガイでは室内実験，ムギワラムシでは現地実験により得られたものである。また，干潟部では1日の内12時間は干出するとみなし，この間は両種によるPOCやPONの取り込みはないと仮定した。生息面積は地理情報解析システムを用いて算出した。

マテガイとムギワラムシのPOCとPONの取り込み量をそれぞれ第21，22表に示した。これらの表では対象海域の4干潟毎に計算値を示すとともに，マテガイやムギワラムシは干潟の沖にも生息するため，干潟上と干潟沖（水深2m以浅）に分けたほか，8月と11月それぞれの調査データから算出した結果を示した。さらに，仮想発電所埋立域におけるPOC，PONの取り込み量とともに，それらが4干潟全体の取り込み量に対する割合も示した。

干潟間で比較すると，POC，PONのいずれも真玉干潟で高い傾向がみられ，この干潟の高い浄化能力が示唆される。これは真玉干潟が4干潟の中

第21表　マテガイとムギワラムシによるPOC（粒子状有機炭素）の取り込み量（tC/年）計算結果

干潟等	干潟上		干潟沖（水深2m以浅）	
	8月調査結果から算出	11月調査結果から算出	8月調査結果から算出	11月調査結果から算出
真玉干潟	33.1	6.6	18.0	6.0
臼野干潟	0.8	0.3	6.4	2.8
浜田干潟	7.0	2.5	5.1	1.7
羽根干潟	1.0	0.1	0.5	0.2
4干潟合計	41.9	9.5	30.1	10.8
仮想発電所埋立域	4.7	0.9	4.3	1.4
(%) *	(11.2)	(9.8)	(14.3)	(13.3)

＊4干潟合計に対する百分率

第22表　マテガイとムギラワムシによるPON（粒子状有機窒素）の取り込み量（tN/年）計算結果

干潟等	干潟上		干潟沖（水深2m以浅）	
	8月調査結果から算出	11月調査結果から算出	8月調査結果から算出	11月調査結果から算出
真玉干潟	6.4	1.0	3.5	1.2
臼野干潟	0.2	0.1	1.2	0.4
浜田干潟	1.4	0.4	1.0	0.3
羽根干潟	0.2	0.0	0.1	0.0
4干潟合計	8.1	1.4	5.8	1.9
仮想発電所埋立域	0.9	0.1	0.8	0.3
(%) *	(11.2)	(9.8)	(14.3)	(14.7)

＊4干潟合計に対する百分率

第23表　調査範囲，予測範囲，仮想発電所埋立の面積

海域	調査範囲 (ha)	予測範囲 (ha)	埋立 (ha)	(埋立)/(調査範囲)×100 (%)	(埋立)/(予測範囲)×100 (%)
全域	1,678	503	39	2.3	7.8
砂泥域のみ	1,124	480	37	3.2	7.6

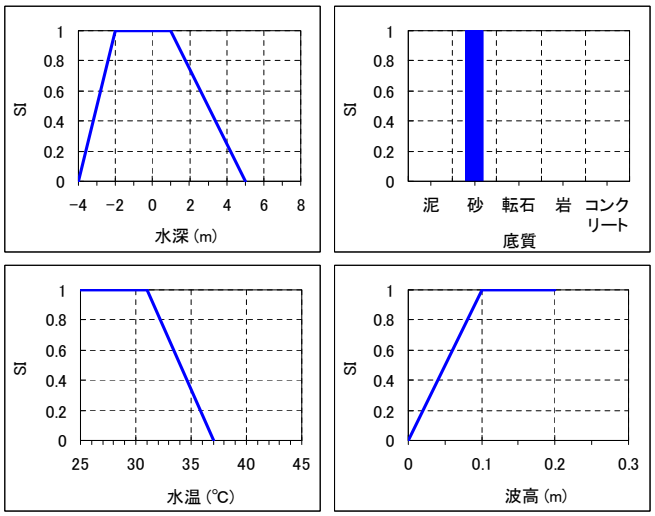
では最も大きな面積であることに加え，マテガイやムギワラムシの生息密度が他の干潟よりも比較的高いことに起因すると考えられる。

仮想発電所埋立域においては，立地後にマテガイやムギワラムシが生息できなくなるため，生息場の消失とともに，海水の浄化機能が消失すると考えられる。仮想発電所の埋立による場の消失範囲は，面積が調査海域全域の2.3%，砂泥域に限ると3.2%である（第23表）のに対し，POCやPONの取り込み量は10%以上が消滅する結果となった。これはマテガイやムギワラムシの分布から，干潟域とその沖（水深2m以浅）に限って計算していることにもよるが，仮想発電所の立地が，4干潟の中でも浄化能の高い真玉干潟であることに起因している。

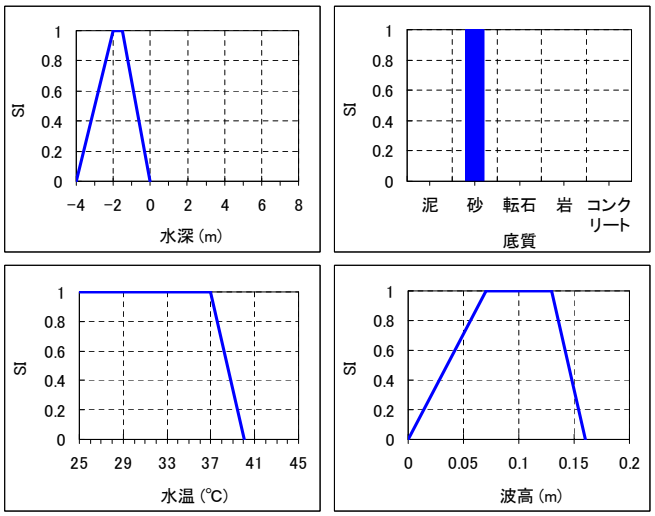
7）技術資料：注目種のSIモデル

本モデルは経済産業省委託「発電所生態系予測手法検討調査」（海生研，2012）で作成されたものであり，干潟のケーススタディにおいて，仮想発電所立地が注目種に与える影響を予測するために用いた。ここでは，参考資料として掲載した（第37～42図）。

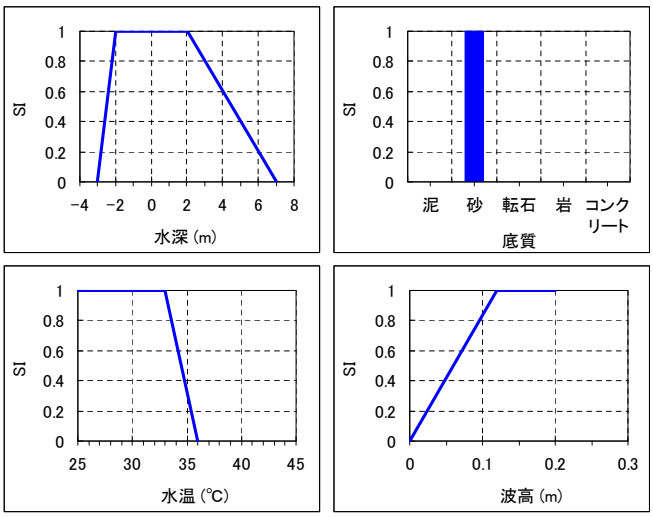
本モデルは文献情報，温度耐性の実験結果及び豊後高田海域の現地調査で得られた情報をもとに作成されているため，他の海域において使用する際には，適用海域の情報を用いて修正されるべきものである。特に水深，底質，波高のそれぞれに関するモデルについては注意が必要である。



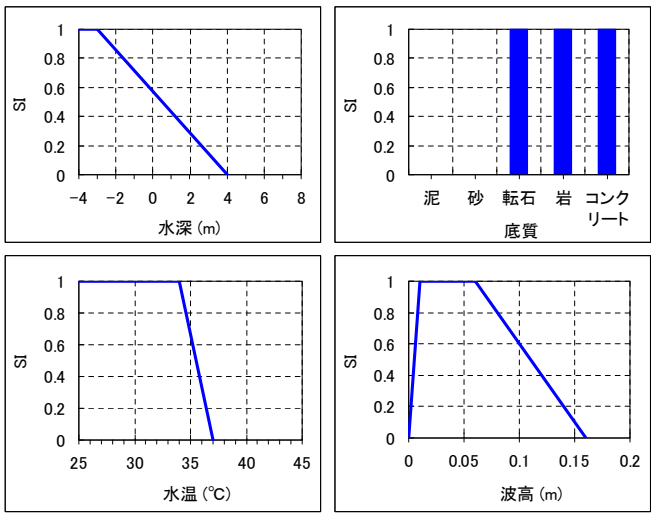
第37図　豊後高田海域のアオギス適性指数モデル（SIモデル）



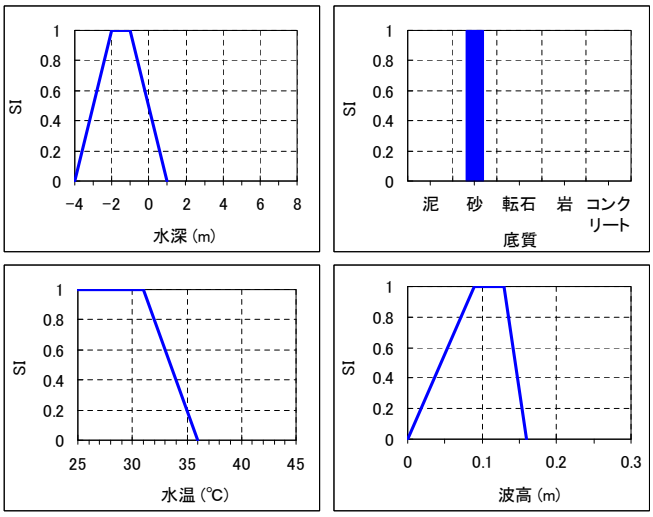
第39図　豊後高田海域のコメツキガニ適性指数モデル（SIモデル）



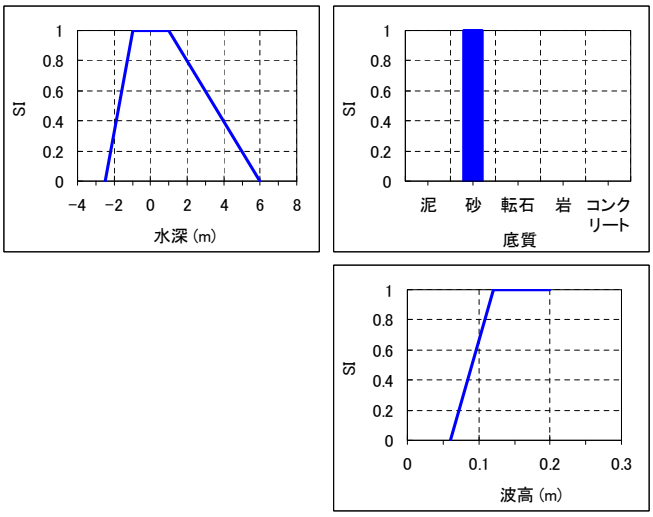
第38図　豊後高田海域のマテガイ適性指数モデル（SIモデル）



第40図　豊後高田海域のオゴノリ適性指数モデル（SIモデル）



第41図　豊後高田海域のセイヨウオゴノリ適性指数モデル（SIモデル）



第42図　豊後高田海域のムギワラムシ適性指数モデル（SIモデル）

ムギラワムシについては温度耐性に関する情報が得られなかったため，水温のSIモデルは作成しなかった。

３．サンゴが生息する海域

１）対象海域の特性（方法書段階）

対象とした竜串湾海域の特性について，海域の類型区分，生態系の構造，生態系の機能の観点から整理した。

(1) 海域の類型区分

竜串湾海域の類型区分について，水域，海底基質，サンゴ類の有無の観点から整理した（第24表）。湾外，湾内ともに岩礁域には造礁サンゴ類が分布し，湾内には海中公園に指定されている水域もある。水産試験場や地元での聞き取り調査によれば，過去にはホンダワラ類の生育がみられたが，近年，このような大型海藻はみられない。湾内から湾外に広がる砂泥域には，一般にサンゴ類，海藻草類はみられないが，千尋岬の小湾にシコロサンゴ *Pavona decussata* の群体がみられる。湾の奥には漁港があり波消しブロックには造礁サンゴ類が生息している。

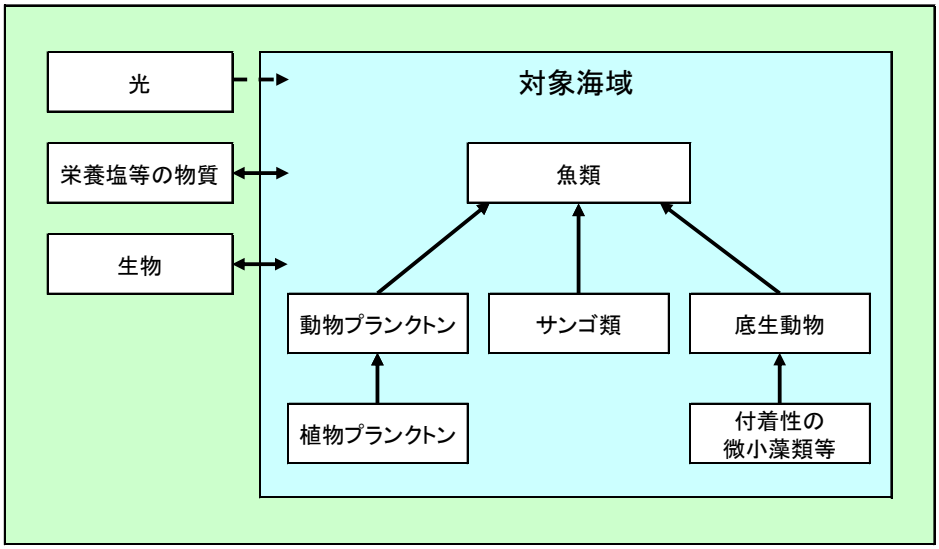
(2) 生態系の構造

対象海域の生態系の構造について，概略的に第43図に示した。対象海域では光や栄養塩類の供給により植物プランクトンが増殖し，植物プランクトンを餌として動物プランクトンが増殖する。この動物プランクトンは稚魚の餌となる。また岩礁域に大型の海藻類は生育しないものの岩等の表面には微細藻類が生育し，巻貝類，ウニ類等の餌となっている。一方，造礁サンゴ類はチョウチョウウオ類やオニヒトデ *Acanthaster planci* 等の餌となるほか，魚類等の生息場となっている。

対象海域の動植物プランクトンや巻貝等も生態系の重要な要素であるが，造礁サンゴ類は他の生物を生息させる場を提供することを考慮すると，

第24表　竜串湾海域の類型区分（方法書段階）

水域	海底基質	造礁サンゴ類の有無	備考
湾外	岩礁	造礁サンゴ類が有る場所と無い場所がある	近年大型海藻はみられない。
	砂泥	造礁サンゴ類なし	
湾内	岩礁	造礁サンゴ類が有る場所と無い場所がある	近年大型海藻はみられない。一部にソフトコーラルがみられる場所あり。
	砂泥	造礁サンゴ類が有る場所と無い場所がある	砂泥域に分布する造礁サンゴ類では，シコロサンゴが優占する。
漁港等	人工護岸	造礁サンゴ類が有る場所と無い場所がある	漁港の沖側に設置されている波消しブロックに造礁サンゴ類がみられる。
	砂泥	造礁サンゴ類なし	



第43図　竜串湾海域の生態系の構造模式図（方法書段階）

対象海域生態系で想定される主な生物の関係及び対象海域内外での光，物質，生物の関係を示した。

第25表　竜串湾海域の生態系の機能（方法書段階）

一般的に考えられる海域生態系の機能		対象海域の生態系の機能
大項目	小項目	
物質循環に係わる機能	海水交換，水質浄化，酸素供給，有機物生産	竜串湾海域は恒流や潮流が小さい。対象海域には小河川があり，降水量が多い時期には，陸域からの栄養塩や土砂が対象海域に流入する。河川由来の濁りや土砂は，海水の流れが弱いこともあって，対象海域に比較的長く留まる，あるいは沈殿する。サンゴ類は共生する藻類が光合成によって酸素や有機物を生産し，サンゴ類のポリプは魚類の餌ともなるが，河川からの土砂流入はサンゴ類にとって生息を脅かす要因と考えら
生息場としての機能	産卵場，育成場，索餌場，避難場	岩礁域や砂泥域はサンゴ類，魚類，ウニ類，貝類等海生生物の生息場となっている。特に造礁サンゴ類が分布する岩礁域は他の生物に餌や隠れ家を提供するため，他の生物にとって重要な生息場であると考えられ
生物多様性の維持機能	種多様性，遺伝的多様性の維持	対象海域には岩礁域，砂泥域，漁港等があり，それぞれの環境に応じた生物が生息しており，対象海域の生態系は種の多様性を支える機能があると考えられる。特に造礁サンゴ類が生息する岩礁域には多くの魚類，ウニ類，甲殻類等が生息しており，種多様性を支える機能を有する
その他の機能	食料生産	対象海域では魚類の他，タコ，伊勢エビ等が漁獲されている他，ヒオウギガイが養殖されている。これらのことから，対象海域の生態系には食料生産を支える機能があると考えられる。
	社会・文化的な場の提供	対象海域では漁業や遊漁，グラスボートによる観光，レジャーダイビング，自然体験学習等が実施されており，対象海域の生態系は社会・文化的な場を人に提供していると考えられる。

第26表　竜串湾海域の注目種・群集の候補と選定理由（方法書段階）

注目種・群集の候補	選定理由
造礁サンゴ類 ミドリイシ類	対象海域にはミドリイシ類を主な構成種とする造礁サンゴ類が生息している。造礁サンゴ類が生息する場所は魚類やウニ類，貝類等，他の生物の生息場ともなり，対象海域を特徴づけるような多様な生物群集がみられる場でもある。造礁サンゴ類が仮想発電所立地により影響を受けることがあれば，その影響は他生物にも波及する可能性があり，生物の種の多様性にも影響するかもしれない。造礁サンゴ類は高温等による白化が懸念される生物であるため，仮想発電所の温排水が造礁サンゴ類に影響を及ぼすことが想定される。これらの理由によりミドリイシ類を主な構成種とする造礁サンゴ類を注目種・群集の候補として選定した。
魚類等遊泳動物 スズメダイ類 チョウチョウウオ類	対象海域にはスズメダイ類やチョウチョウウオ類が生息しており，これらは対象海域の魚類群集の特徴を表す分類群であると考えられる。またこれらは岩礁域や転石域，造礁サンゴ類が生息する場所等，場に依存する性質もあると考えられ，仮想発電所立地により，これら魚類の生息場が一部消失することが想定される。これらの理由によりスズメダイ類，チョウチョウウオ類を注目種の候補として選定した。

この対象海域では注目すべき生物群である。また造礁サンゴ類は固着性であるため，仮想発電所立地の影響を受けやすい生物でもある。

(3) 生態系の機能

第25表には一般的に考えられる海域生態系の機能と対象海域の生態系の機能を対応させて示した。

２）予測項目（候補）の選定（方法書段階）

(1) 注目種・群集の候補選定

海域特性及び仮想発電所の影響を考慮して第26表のとおり，予測対象となる注目種・群集を選定した。

(2) 注目される生態系機能の候補選定

生態系の機能については，造礁サンゴ類が生物多様性を維持する機能を有すること，仮想発電所立地により温排水がサンゴ類に影響を及ぼす可能性があること等を考慮し，造礁サンゴ類を含む対象海域の生物多様性の維持機能について着目する。

３）調査・予測の手法（方法書段階）

方法書には海域生態系だけでなく，「海域に生息する動物」や「海域に生育する植物」等の項目についても調査・予測の手法を記載する。ここでは他の調査項目についてはすでに記載されているものと仮定して，海域生態系の調査・予測手法のみを記載した。

(1) 調査すべき情報

調査すべき情報は，動植物その他の自然環境に係る概況，複数の注目種・群集（造礁サンゴ類，スズメダイ類，チョウチョウウオ類）の生態，他の動植物との関係，生息環境もしくは生育環境の状況，分布等の状況とする。

(2) 調査の基本的な手法

調査の基本的な手法は，文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析とする。

【文献その他の資料調査】

文献その他の資料収集及び必要に応じて注目種・群集等に関する専門家へのヒアリング等を実施し，当該情報を整理，解析する。

【現地調査】

①造礁サンゴ類

動物の調査結果を参照するが，対象生物の分布を推定するため，必要に応じ船上目視観察を実施して位置,水深,造礁サンゴ類の有無を把握する。

②スズメダイ類，チョウチョウウオ類

動物の調査結果を参照する。

(3) 調査地域

調査地域は対象事業実施区域及びその周辺区域とする。

(4) 調査地点

調査地点は，注目種・群集の特性を踏まえ，それらの生息又は生育環境に係る環境影響を予測し評価するために，適切かつ効果的な地点又は経路とする。

【現地調査】

①造礁サンゴ類

動物項目の調査測線に同じ。なお補完的な調査点は動物項目の調査測線の間に設ける。

②スズメダイ類，チョウチョウウオ類

動物の調査測線に同じ。なお補完的な調査点は動物の調査測線の間に設ける。

(5) 調査期間等

調査機関等は，注目種・群集候補の特性を踏まえ，それらの生息又は生育環境に係る環境影響を予測し評価するために，適切かつ効果的な期間，時期及び時間帯とする。

【現地調査】

①造礁サンゴ類

動物の調査期間に同じ。

②スズメダイ類，チョウチョウウオ類

動物の調査期間に同じ。

(6) 予測の基本的な手法

予測の基本的な手法としては，注目種・群集候補について，分布または生息もしくは生育環境の改変の程度を把握したうえで，事例の引用又は解析を行う。解析を行う場合は，注目種・群集の分布と環境要素の変化域を重ね合わせて影響の程度と面積を予測する。対象海域が有する生物多様性を維持する機能については，魚類の多様度を分析し仮想発電所の影響を定性的に予測する。

(7) 予測地域

予測地域は，調査地域のうち，注目種・群集候補の特性を踏まえ，注目種・群集の生息又は生育環境に係る環境影響を受けるおそれがある地域とする。

(8) 予測対象時期等

予測対象時期等については，仮想発電所の建設等が完成し定常運転となった時点とし，注目種・群集の特性を踏まえ，注目種・群集の生息又は生育環境に係る環境影響を的確に把握できる時期と

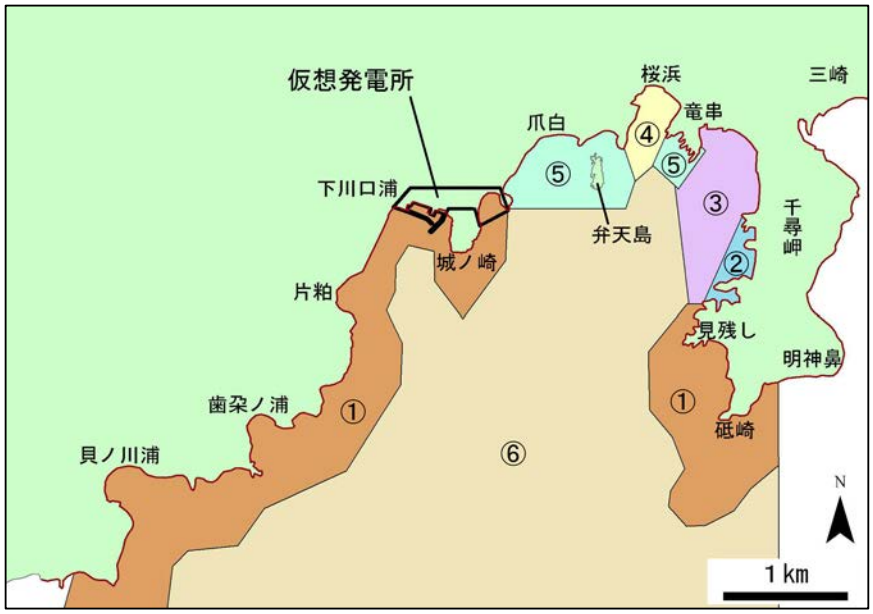
する。

４）対象海域の特性再整理（準備書段階）

対象海域の特性については，海域の類型区分，生態系の構造，生態系の機能の観点から整理した。

(1) 海域の類型区分

第44図に対象海域の類型区分図を示した。海域類型の区分には地形，底質，波あたり，造礁サンゴ類の生息状況を用いた。第27表に海域の類型区分と生息する生物の特徴等を示した。同じ類型，例えば類型①であっても，地形，波あたり等によ



第44図　竜串湾海域の類型区分図（準備書段階）

第27表　竜串湾海域の類型区分と生物の特徴（準備書段階）

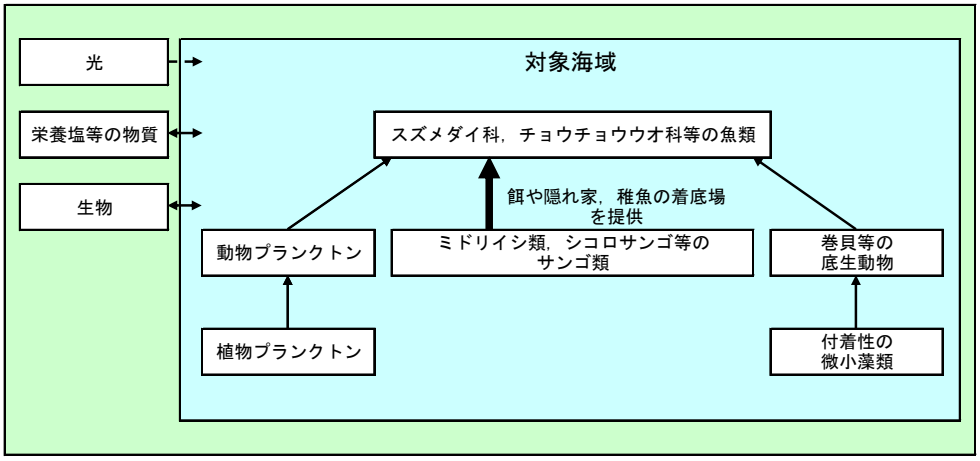
類型	地形，底質，波あたり等	生物の特徴
①	湾口から湾外にかけての岩礁域。底質は主に岩盤，海底傾斜は急であるが，千尋岬先端部は起伏に富む複雑な海底地形で，一部に浅場も広がる（砥崎及びその東側）。波あたりは強い。	サンゴ類は大型の群体は少ないが，卓状のクシハダミドリイシやエンタクミドリイシ，また半球状のキクメイシ科の造礁サンゴ類が出現する。現地調査では貝ノ川浦や歯朶ノ浦で局所的に卓状のサンゴ類がみられた。また千尋岬先端部は複雑な岩礁地形で波浪が遮られる場所には，高密度で卓状のサンゴ類がみられた。これらの地点ではオニヒトデも出現した。魚類はブダイ科，スズメダイ科等がみられる。浅い岩盤にタワシウニが高密度で生息する場所がある。
②	底質は岩盤，転石，砂礫からなり，波あたりは弱く，比較的静穏な海域である。	サンゴ類はシコロサンゴやオオスリバチサンゴといった，他の類型の海域とは異なる造礁サンゴ類が出現する。シコロサンゴにはチョウチョウウオ科，スズメダイ科の魚類がみられ，見残しの北側入り江に生息する大型のシコロサンゴ群体には，サヨリ等の小魚の群れがみられる。砂礫中の岩上にはヒバリガイモドキが高密度でみられる。
③	底質は主に岩盤，転石，砂泥からなるが，湾奥に防波堤，消波ブロック等の人工構造物がある。海底傾斜が緩やで波あたりは中程度若しくは強い。土砂流入の影響を強く受けた海域である。	サンゴ類は全体的に小型の造礁性サンゴ類がみられる。消波ブロックにも造礁性サンゴ類がみられる。造礁サンゴ類が生息する場所ではチョウチョウウオ科，スズメダイ科，ベラ科等の魚類が多い。砂泥底にはナマコ類がみられる。
④	底質は主に砂礫で，一部に岩礁域が混在する。海底傾斜は緩やかなで波あたりは比較的弱い。	サンゴ類は，一部に混在する岩礁域にのみ出現し，小型の群体から形成される。また一部の岩礁域にはホンダワラ類が生育するとされるが，現地調査では確認されていない。潜水観察で確認できる魚類は比較的少ないが，ヒメジ科，ベラ科の魚類がみられる。
⑤	底質は主に岩盤で波あたりは中程度であるが，弁天島の北側は弱い。全体的に海底傾斜が緩やかであるが，岩盤は起伏に富む。	サンゴ類は大きく成長した群体が多く，特に卓状のクシハダミドリイシを中心に，造礁サンゴ類が密に出現する。チョウチョウウオ科，スズメダイ科，ブダイ科，ベラ科の魚類が多くみられる。弁天島の北側にはシコロサンゴがみられる。
⑥	底質は主に砂からなる砂底域で，一部に岩礁域が混在する。海底傾斜は緩やかで，一部の岩礁域がある。	一部の岩礁域には軟質サンゴ類が出現する。聞き取り調査によれば，水深15～18m付近に造礁性サンゴ類の群集が出現する。主な魚類，底生動物等については，本ケーススタディではこの水域の現地調査等を実施していないため，不明である。

りサンゴ類の分布状況が異なる場所がみられた。第27表では，それらサンゴ類の生息状況に加え，底生動物，魚類も示した。

(2) 生態系の構造

対象海域の生態系の構造模式図を第45図に示した。対象海域では光や栄養塩類の供給により植物プランクトンが増殖し，植物プランクトンを餌として動物プランクトンが増殖する。この動物プランクトンは魚類稚魚の餌となる。また岩礁域に大型の海藻類は生育しないものの，岩等の表面には微細藻類が生育し巻貝類，ウニ類等の餌となっていると考えられる。一方，ミドリイシ類やシコロサンゴ等の造礁サンゴ類はチョウチョウウオ類やオニヒトデ等の餌となるほか，魚類等の生息場となっており，隠れ家や稚魚の着底場を提供していると考えることができる。

対象海域の動植物プランクトンや巻貝等も生態系の重要な要素であるが，造礁サンゴ類が他の生



第45図　竜串湾海域の生態系の構造模式図（準備書段階）

対象海域生態系で想定される主な生物の関係及び対象海域内外での光，物質，生物の関係を示した。

第28表　竜串湾海域の生態系の機能（準備書段階）

一般的に考えられる海域生態系の機能		対象海域の生態系の機能
大項目	小項目	
物質循環に係わる機能	海水交換，水質浄化，酸素供給，有機物生産	竜串湾海域は恒流や潮流が小さい。対象海域には小河川があり，降水量が多い時期には，陸域からの栄養塩や土砂が対象海域に流入する。河川由来の濁りや土砂は，海水の流れが弱いこともあって，対象海域に比較的長く留まる，あるいは沈殿する。サンゴ類は共生する藻類が光合成によって酸素や有機物を生産し，サンゴ類のポリプは魚類の餌ともなる。河川からの土砂流入はサンゴ類にとって生息を脅かす要因と考えられる。
生息場としての機能	産卵場，育成場，索餌場，避難場	対象海域の岩礁域や砂泥域はサンゴ類，魚類，ウニ類，貝類等海生生物の生息場となっている。特に造礁サンゴ類が分布する岩礁域は他の生物に餌や隠れ家を提供するため，他の生物にとって重要な生息場であると考えられる。
生物多様性の維持機能	種多様性，遺伝的多様性の維持	対象海域には岩礁域，砂泥域，漁港等があり，それぞれの環境に応じた生物が生息しており，対象海域の生態系は種の多様性を支える機能があると考えられる。特に造礁性サンゴ類が生息する岩礁域には多くの魚類，ウニ類，甲殻類等が生息しており，種多様性を支える機能を有する。 現地調査によれば竜串湾の静穏域にはシコロサンゴが生息しており，魚類の多様性を検討した結果，ミドリイシ類を主な構成種とする造礁サンゴ類が生息する場よりもシコロサンゴが生息する場の方が，魚類全体をみても稚魚だけをみても多様度が高い傾向がみられた。魚類だけで生物の多様性を評価することはできないが，この結果は対象海域の生物多様性の維持機能を評価する上で重要であると考えられる。
その他の機能	食料生産	対象海域では魚類の他，タコ，伊勢エビ等が漁獲されている他，ヒオウギガイが養殖されている。これらのことから，対象海域の生態系には食料生産を支える機能があると考えられる。
	社会・文化的な場の提供	対象海域では漁業や遊漁，グラスボートによる観光，レジャーダイビング，自然体験学習等が実施されており，対象海域の生態系は社会・文化的な場を人に提供していると考えられる。

物を生息させる場を提供することを考慮すると，対象海域では注目すべき生物群であると考えられる。また造礁サンゴ類は固着性であるため，仮想発電所の影響を受けやすい生物と考えられる。このことからも造礁サンゴ類は注目すべき生物群である。

(3) 生態系の機能

第28表に対象海域の生態系の機能について整理した。

第29表　竜串湾海域の注目種・群集と選定理由（準備書段階）

注目種・群集の候補（方法書）	注目種・群集（準備書）	選定理由
造礁サンゴ類 ミドリイシ類	造礁サンゴ類 （主にミドリイシ類を構成種とする造礁サンゴ類とシコロサンゴ）	対象海域には造礁サンゴ類が生息している。造礁サンゴ類が生息する場所は魚類やウニ類，貝類等，他の生物の生息場ともなり，対象海域を特徴づけるような多様な生物群集がみられる場でもある。造礁サンゴ類が仮想発電所立地により影響を受けることがあれば，その影響は他生物にも波及する可能性があり，生物の種の多様性にも影響するかもしれない。造礁サンゴ類は高温等による白化が懸念される生物であるため，仮想発電所の温排水が造礁サンゴ類に影響を及ぼすことが想定される。これらの理由により，方法書においては，造礁サンゴ類を注目種・群集の候補とした。 現地調査の結果，対象海域ではミドリイシ類とシコロサンゴは異なる分布特性を示した（シコロサンゴはミドリイシ類よりも静穏域に分布していた）。またシコロサンゴ周辺の魚類の多様度はミドリイシ類のそれよりも高かった。サンゴ類の生息する場所が，他の生物の生息場としての機能を有するという考えも考慮して，準備書ではミドリイシ類を主な構成種とする造礁サンゴ類に加えて，シコロサンゴにも留意することとした。
魚類等遊泳動物 スズメダイ類 チョウチョウウオ類	スズメダイ類 ソラスズメダイ チョウチョウウオ類 トゲチョウチョウウオ	対象海域にはスズメダイ類やチョウチョウウオ類が生息しており，これらは対象海域の魚類群集の特徴を表す分類群であると考えられる。またこれらは岩礁域や転石域，造礁サンゴ類が生息する場所等，場に依存する性質もあると考えられ，仮想発電所立地により，これら魚類の生息場が一部消失することが想定される。これらの理由により，方法書ではスズメダイ類，チョウチョウウオ類を注目種の候補とした。 既往知見調査や聞き取り調査により，スズメダイ類やチョウチョウウオ類に関する情報は得られたものの，水産上の重要種に比較すると，温度に対する耐性等の情報は極めて少なかった。そのため，準備書においては，これら魚類の中でも出現頻度が高く，比較的情報も多いソラスズメダイ及びトゲチョウチョウウオに着目し，予測対象としての注目種とした。

第30表　竜串湾海域ケーススタディの仮想発電所条件及び調査・予測の概要

項目	概要
仮想発電所条件 （コンバインドサイクル発電を想定）	埋立（6.8ha），防波堤の新設なし 温排水（25m^3/秒×2，表層放水，7℃上昇，取水温度は27.5℃）
環境要因の調査 海岸地形 水深，底質，波高，流況等 水温	 航空写真，デジタル地図等 竜串自然再生事業関連資料（環境省，2004），海図等 波高計算結果（環境省中国四国地方環境事務所提供） 浅海定線調査結果（高知県水産試験場提供） 2008～2011年観測結果（足摺海底館提供）
注目種・群集の調査 造礁サンゴ類 ソラスズメダイ,トゲチョウチョウウオ	 竜串自然再生事業関連資料（環境省，2005，2006，2007） 現地観察（2009，2010，2011） 竜串自然再生事業関連資料（環境省，2005，2006，2007）
生態系の機能の調査 魚類の多様性を維持する機能	 竜串自然再生事業関連資料（環境省，2005，2006，2007）
環境要因の予測 水温予測	 準三次元モデル
注目種・群集への影響予測	埋立による消滅，温排水による昇温影響を予測。昇温影響については地理情報システム（GIS）上に20m×20mの計算格子を作成し，温排水拡散予測結果と造礁サンゴ類分布を重ね合わせ，造礁サンゴ類が曝される水温を予測した。魚類の水温に対する予測モデルは温度耐性実験結果から作成した。
生態系の機能に関する影響予測	魚類目視観察結果から魚類の多様度（グループ別RI指数）を算出し，GISを用いて魚類多様度と仮想発電所立地による影響を検討した。

５）予測項目（準備書段階）

(1) 注目種・群集

第29表に選定した注目種・群集及び選定理由を示した。

(2) 注目される生態系の機能

対象海域には岩礁域，砂泥域，主にミドリイシ類を主要な構成種とする造礁サンゴ類が生息する水域，シコロサンゴが生息する比較的静穏な水域等が存在する。仮想発電所の温排水は造礁サンゴ類に影響を及ぼすことが懸念され，造礁サンゴ類は多様な魚類が生息する場でもあるため，海域全体として魚類の多様性にどのような影響が生じるかを検討する必要がある。このため，ここでは魚類の種の多様性に着目した。

６）予測方法と結果（準備書段階）

(1) 予測方法

①予測に用いたデータ

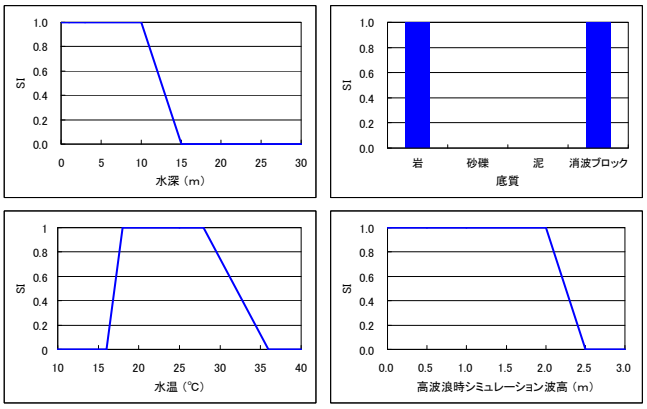
第30表にケーススタディで想定した仮想発電所の条件と実施した調査・予測の概要を示した。

②予測の過程と予測方法

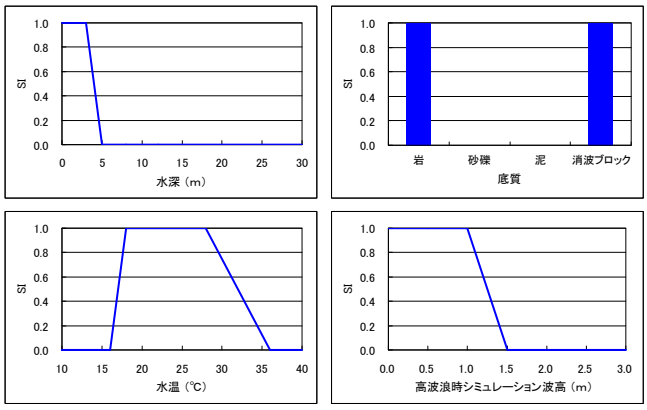
仮想発電所立地の影響要因は，埋立による場の消滅と温排水による水温の変化である。水温変化は温排水拡散シミュレーションを実施した。場の消滅と水温変化が注目種・群集及び生態系の機能に及ぼす影響をそれぞれ予測した。

ｉ．注目種・群集

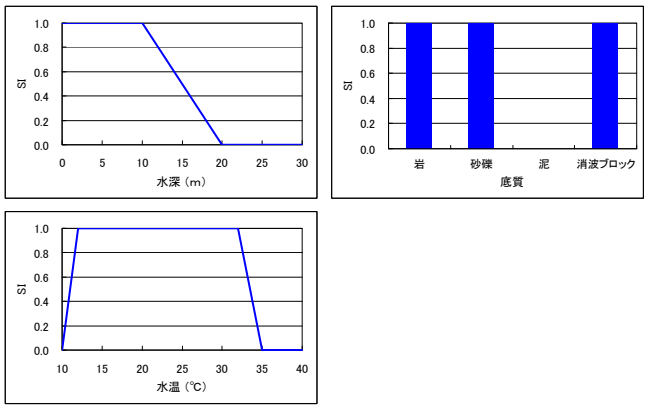
仮想発電所立地が対象海域の注目種・群集に与える影響を予測するため，GISの計算格子（20m×20m）を用い，水深，底質，波高，水温（仮想発電所立地前後），造礁サンゴ類の分布をデータ



第46図　竜串湾海域のミドリイシ類を主な構成種とする造礁サンゴ類のSIモデル

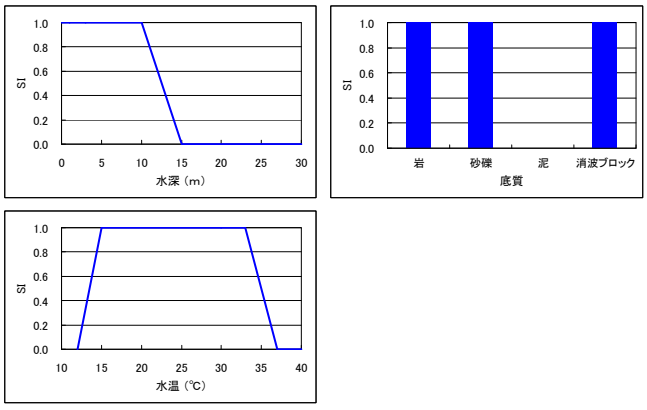


第47図　竜串湾海域のシコロサンゴのSIモデル



第48図　竜串湾海域のソラスズメダイのSIモデル

ソラスズメダイでは，高波浪時シミュレーション波高と対象生物分布との間に明瞭な関係がみられなかったため，波高に関するモデルは作成しなかった。



第49図　竜串湾海域のトゲチョウチョウウオのSIモデル

トゲチョウチョウウオでは，高波浪時シミュレーション波高と対象生物分布との間に明瞭な関係がみられなかったため，波高に関するモデルは作成しなかった。

ベース化した。次に注目種・群集（ミドリイシ類を主な構成種とする造礁サンゴ類，シコロサンゴ，ソラスズメダイ *Pomacentrus coelestis*，トゲチョウチョウウオ *Chaetodon auriga*）と環境要素の関係を示すモデル（SIモデル）を，既往知見，専門家への聞き取り調査及び実験の結果（海生研，2012）を用いて作成した（第46～49図）。これらのモデルと過去に観察されたサンゴ白化状況，水温の状況等を踏まえて，仮想発電所立地の影響を予測した。

ⅱ．生態系の機能

仮想発電所立地が生態系の機能に与える影響は対象海域が有する魚類の種の多様性を支える機能に着目して魚類の多様度指数を算出した。多様度指数は中村（1994，2000）が提唱した対象種をいくつかの指標グループに分類して算出するグループ別RI指数を用いた。解析には，竜串地区自然再生事業関連の調査結果（環境省，2005，2006，2007）から魚類相調査の結果を用いた。なお多様度指数の算出法等は技術資料に示した。

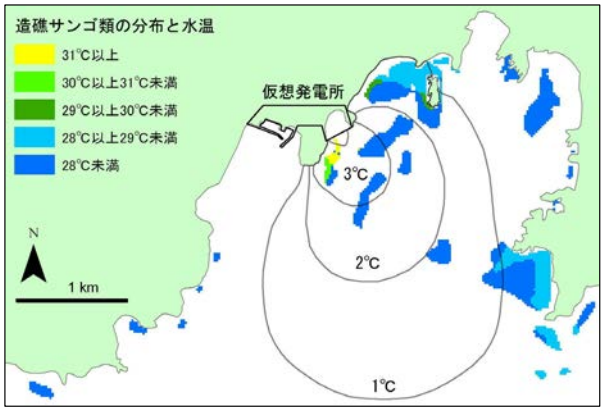
(2) 予測結果

①造礁サンゴ類（ミドリイシ類，シコロサンゴ）

仮想発電所の温排水拡散と造礁サンゴ類の分布を重ね合わせて第50図に示した。造礁サンゴ類が曝される温度は，予測水温と造礁サンゴ類の分布を重ね合わせ，造礁サンゴ類が分布する場の温度を抽出して示した。温排水の拡散予測計算では準3次元モデルを用いたので，水温の分布と造礁サンゴ分布とを3次元的に重ね合わせて分析することが可能である。しかし，対象海域では太平洋のうねりや，南から南西方向の風の影響で波高が高くなることが多いことを考慮して，ここではより安全側に立ち，表層水温が水深5mまで及ぶと仮定して造礁サンゴ類が曝される温度を示した。第31表には造礁サンゴ類の分布面積と埋立影響及び温度影響を受ける面積を示した。

過去の水温と造礁サンゴ類の白化の状況を照合すると，2008年と2010年は夏季の水温が29℃に達して造礁サンゴ類の白化が生じている。また，白化が1ヶ月継続すると造礁サンゴ類は死滅することがあり，2010年には死滅した群体が観察されている（黒潮生物研究所聞き取り）。これらのことより，第50図において29℃以上の水温に曝される造礁サンゴ類ではその一部が白化することが予測され，その水温が1ヶ月継続すると死滅する可能性がある。29℃以上の水温に曝される造礁サンゴ類の面積は，第31表より4.4haと見積もることができる。

仮想発電所の温排水と分布が重なる造礁サンゴ類は主にミドリイシ類である。湾奥や枝湾の静穏域に生息しているシコロサンゴは，仮想発電所の温排水拡散とは重ならないため，昇温影響は受けないと予測される。しかし，仮想発電所の立地位



第50図　仮想発電所温排水（表層放水）と造礁サンゴ類分布の重ね合わせ図

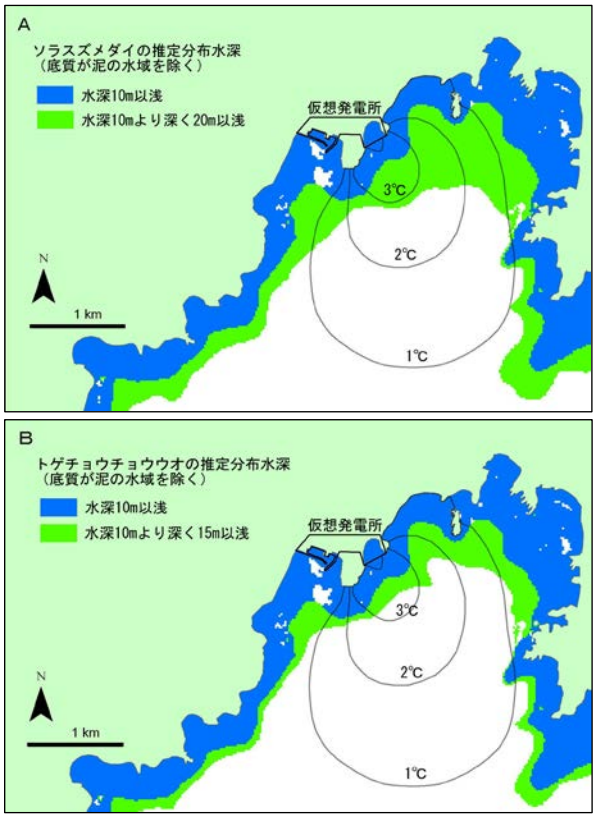
造礁サンゴ類（ミドリイシ類，シコロサンゴ）の分布と，その分布域が曝される水温を色分けして示した。

第31表　造礁サンゴ類の分布面積と影響を受ける面積の計算結果

対象	面積（ha）	面積（%）※
予測対象海域の造礁サンゴ類の分布面積	79.4	100
埋立等（6.8ha）により消滅する造礁サンゴ類の面積	0.0	0
仮想発電所立地後の表層水温とその水温域に分布する造礁サンゴ類の面積（条件：夏季，取水温度は27.5℃，表層放水方式，水深5mまで昇温影響を受けると仮定した場合）		
28℃未満	50.0	63
28℃以上29℃未満	25.0	31
29℃以上30℃未満	2.0	3
30℃以上31℃未満	1.0	1
31℃以上	1.4	2

※予測対象海域の造礁サンゴ類の分布面積に対する百分率。

置や防波堤の規模等によっては，海域の波浪環境が変化する場合も考えられる。第46，47図の高波浪時シミュレーション波高とSIの関係にみられるように，ミドリイシ類とシコロサンゴでは波浪に対する適性が異なると考えられるので，このような場合は昇温影響だけでなく，波浪環境の変化についても影響を予測する必要がある。



第51図　仮想発電所とソラスズメダイ（A），トゲチョウチョウウオ（B）の推定分布水深

ソラスズメダイとトゲチョウチョウウオについては，それぞれの種の水深SIモデルと底質SIモデルを用い，分布水深を推定した。底質が泥の場合は生息場として不適なため推定図から除外されている（図中では着色域で白く抜けている部分）。

②魚類（ソラスズメダイ，トゲチョウチョウウオ）

ソラスズメダイとトゲチョウチョウチョウウオについて，水深と底質のSIモデルから推定した分布図を第51図に示した。ソラスズメダイのSIモデルでは水深10m以浅がSI=1，水深20m以上でSI=0であるため，水深を10m以浅と水深10～20m以浅に分けて示した。同様にトゲチョウチョウウオのSIモデルでは水深10m以浅がSI=1，水深15mでSI=0であるため，水深を10m以浅と水深10～15m以浅に分けて示した。また，底質が泥に分類される場所は両種ともにSI=0であるため，泥の部分は分布推定域から除外した。SIモデルに従えば，両種にとって水深10m以浅の水域がそれより深い水域よりも生息場所としての価値が高いことを意味する。

ソラスズメダイ及びトゲチョウチョウウオの推定分布域の面積と埋立等により消滅する面積を第32表と第33表にそれぞれ示した。埋立域は水深10m以浅の水域であり，両種にとっては生息場所として価値の高い生息域が1.6%消滅するという結果となった。

水温に関するSIモデルでは，ソラスズメダイは32℃以下でSI=1，35℃でSI=0であり，トゲチョウチョウウオでは33℃以下でSI=1，37℃でSI=0である（第48，49図）。今回の温排水拡散予測の条件では，取水温度が27.5℃（1998～2002年，7～9月の平均水温）であり，3℃以上の昇温域でも32℃以下となるため，水温が直接的に両種に与える影響は無いと考えられる。しかし，夏季の自然水温が29℃に達するような年（2008年，2010年）では，3℃以上の昇温域は32℃を超えることになり，ソ

第32表　ソラスズメダイの推定分布域と埋立等により消滅する面積

ソラスズメダイの推定分布域の水深※	水深別面積	埋立等により消滅する面積（水深別面積に対する百分率）
水深10m以浅	413 ha	6.8 ha（1.6%）
水深10mより深く20m以浅	261 ha	0 ha（ 0%）
計（水深20m以浅）	674 ha	6.8 ha（1.0%）

※底質が「泥」を除く

第33表　トゲチョウチョウウオの推定分布域と埋立等により消滅する面積

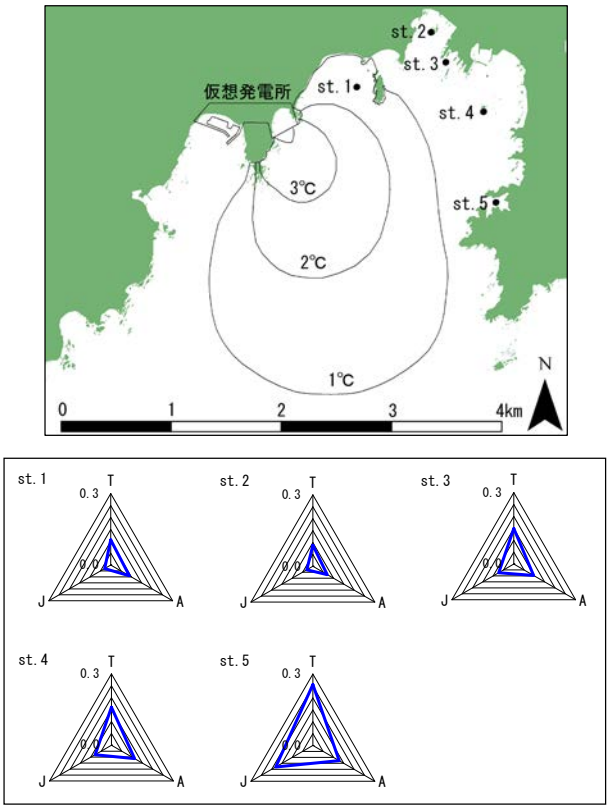
トゲチョウチョウウオの推定分布域の水深※	水深別面積	埋立等により消滅する面積（水深別面積に対する百分率）
水深10m以浅	413 ha	6.8 ha（1.6%）
水深10mより深く20m以浅	141 ha	0 ha（ 0%）
計（水深20m以浅）	554 ha	6.8 ha（1.2%）

※底質が「泥」を除く

ラスズメダイの生息域としては適さない水域となることが考えられる。

③生態系の構造模式図からみた影響

仮想発電所の温排水によって造礁サンゴ類が影響を受けることが予測されており，造礁サンゴ類への影響はこれらを餌とするチョウチョウウオ科の魚類，また造礁サンゴ類を生息場とする魚類に影響が及ぶものと考えられる。



第52図　竜串湾海域の調査地点（上）と魚類多様度（下）

環境省中国四国地方環境事務所（2006）の魚類観察結果を用いて調査地点図を作成し，調査地点毎の魚類多様度（グループ別RI指数）を計算した。調査地点図には仮想発電所の温排水拡散予測結果もあわせて示した。グループ別RI指数の内，Tは全ての魚類，Jは稚魚，Aは成魚をそれぞれ示す。

④生態系の機能（魚類の多様度）

ここでは対象海域が有する魚類の種の多様性を支える機能に着目した。環境省が実施した竜串地区自然再生推進計画調査（環境省，2005，2006，2007）のうち，魚類相調査の結果を用いて多様度を解析したところ，中村のRI指数が出現種数や総個体数が多い場合に高い値を示し，分かりやすい指数であると考えられた。そのため魚類の種の多様度（グループ別RI指数）を算出し，仮想発電所温排水の影響を予測することを試みた(第52図)。それによると多様度は，st.3，st.4，st.5で比較的高く，st.1，st.2では比較的低かった。仮想発電所の温排水は魚類多様度の高いst.3，st.4，st.5には及ばないことが予測された。

多様度指数を算出するにあたっては，対象とする生物群の特性や群集構造を検討して適切な指標を使用する必要がある。多様度指数については章末の技術資料に示した。

7）技術資料：多様度指数について

生態学的研究においては，古くから生物群集構造や多様性を指数化する方法が検討され，いくつかの多様度指数が提唱されているが，それらの理論基盤は，主に確率論によるものと，情報量理論によるものに分けられる。よく利用される多様度指数の概要を第34表に示す。

確率論による多様度指数でよく利用されるものは，Simpsonの多様度指数λ（もしくは1−λ，1/λ）や森下のβ指数がある。一方，情報量理論による多様度指数では，Shannon-Weaverの関数H’が使用されることが多い。この他にも多くの多様度指

第34表　多様度指数の計算式と内容

多様度指数	計算式	内　容
Simpsonの多様度指数λ	$\lambda = \Sigma\ n_i(n_i-1)\ /\ N(N-1)$	多様性が増加すると，λは減少するため，通常は1−λ又は1/λを用いる。 $0 \leqq 1-\lambda \leqq 1-(1/S) < 1$ $0 \leqq 1/\lambda < 10+$
森下のβ指数	$\beta = 1\ /\ \Sigma\ n_i(n_i-1)\ /\ N(N-1)$ $= 1\ /\ \lambda$	Simpsonの1/λと同じ定義
Shannon-Weaverの関数H’	$H' = -\Sigma\ P_i \cdot \log_e P_i$ （ただし$P_i = n_i/N$）	多様性が増加すると，H’も増加する。 対数の底は，2又は10を使う場合もある。 $0 < H' \leqq \log_e S$
中村のRI指数	$RI = \Sigma\ R_i\ /\ \{S \cdot (M-1)\}$	多様性が増加すると，RIも増加する。 $0 \leqq RI \leqq 1$

表中の記号：S ＝ 種数，N ＝ 総個体数，n_i ＝ i番目の種の個体数，R_i ＝ i番目の種の個体数ランク，
M ＝ 個体数ランクの段階数（M段階：0,1,2,･･･,M−1）

数が提唱されているが，いずれも観察された生物種の総個体数，それぞれの種の個体数及び出現種数を用いて算出される。しかし海域調査の場合，個々の生物種について個体数を明確に記録することは困難な場合もあり，被度や順位尺度により記録されることも多い。これらに対し，中村（1994）は，順位尺度による多様度としてRI指数を提唱し，蝶を対象とした生物群集の構造解析手法として環境影響評価に利用している。

ここではこれら多様度指数について実在するデータを用いて比較し，その特徴を示す。なお多様度指数の算出には，環境省が実施した平成16年度竜串地区自然再生推進計画調査（海域調査）業務報告書（環境省，2005）のうち，魚類相調査の結果を用いた。上記の調査（以下，竜串自然再生調査）は，足摺宇和海国立公園の内，竜串海中公園地区において，土砂流入等により衰退したサンゴ群集を再生させるという自然再生事業の一環として実施されたものである。魚類相調査は継続的な海域モニタリングの一つとして実施され，竜串湾内の5地点において測線100mの潜水目視観察を行い，出現した魚類の種数ならびに種毎の個体数が計数されている。

多様度指数の比較はSimpsonの多様度指数λ（1-λとして算出），Shannon-Weaverの関数H'，中村のRI指数を用いて行った。なおRI指数の算出にあたっては，計数されていた個体数を6段階（0個体を含める；0：0個体，1：1個体，2：2～9個体，3：10～49個 体，4：50～99個 体，5：100個 体 以 上）の順位尺度に変換した。第　に調査地点毎の魚類の出現種数，総個体数及び多様度指数を示した。

一般的に多様性は「種の多様性」，すなわち「種の豊富さ」として理解されることが多いため，出現種数や総個体数が多いst.5やst.4で多様度も高いと判断される場合がある。しかし，Simpsonの1-λやShannon-WeaverのH'が高い値を示したのはst.2であり，st.5やst.4よりも，出現種数と総個体数が少ない調査地点である。これに対して中村のRI指数ではSt.5が最も高く，出現種数や総個体数と連動している。これらの違いは，それぞれの多様度指数の持つ特性であり，どの指数が優れているというものではない。ここで扱った対象生物は魚類であり，単独で生息する種もあれば，群れを形成する種もある。対象とする群集構造や生物

第35表　調査地点毎の魚類の出現種数，総個体数及び多様度指数（環境省（2005）より算出）

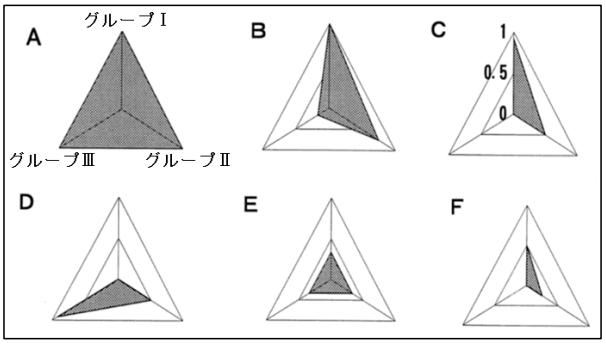
指標	調査地点				
	st.1	st.2	st.3	st.4	st.5
出現種数	35	30	28	35	45
総個体数	235	126	192	846	570
Simpsonの多様度指数（1-λ）	0.899	0.92	0.845	0.599	0.737
Shannon-Weaverの関数H'	2.74	2.818	2.477	1.506	2.253
中村のRI指数	0.151	0.121	0.133	0.18	0.217

第36表　構造の異なるモデル生物群集による多様度指数の比較（中村（2000）を一部改変）

対象種	（グループ）	モデル群集					
		A	B	C	D	E	F
a種	（Ⅰ）	30	100	180	0	3	18
b種	（Ⅰ）	30	80	100	0	3	10
c種	（Ⅰ）	30	60	30	0	3	3
d種	（Ⅰ）	30	40	20	0	3	2
e種	（Ⅱ）	30	30	10	0	3	1
f種	（Ⅱ）	30	20	10	10	3	1
g種	（Ⅱ）	30	10	10	10	3	1
h種	（Ⅱ）	30	10	0	10	3	0
i種	（Ⅲ）	30	5	0	20	3	0
j種	（Ⅲ）	30	5	0	30	3	0
k種	（Ⅲ）	30	0	0	100	3	0
l種	（Ⅲ）	30	0	0	180	3	0
総個体数		360	360	360	360	36	36
種数		12	10	7	7	12	7
Simpsonの多様度指数1/λ		12.379	5.671	2.962	2.962	17.5	3.119
Shannon-Weaverの関数H'		2.485	1.918	1.369	1.369	2.485	1.369
中村のRI指数		1	0.639	0.472	0.472	0.333	0.25

群の特性に合わせて使用すべき指数を選択すべきであろう。

中村のRI指数（2000）では，蝶を対象とした生物群集の構造解析手法として，いくつかの多様度指数を比較し，環境影響評価への有効性を考察している。ここではその一部を紹介する。第36表に構造の異なったモデル生物群集による多様度指数の比較を示す。群集Aと群集Eのそれぞれの指数を比較すると，Shannon-WeaverのH'は種数と均一性を表現する平均多様度指数であるため，同じ2.485となる。Simpsonの1/λは，総個体数が減少すると指数が大きくなる特性がみられ，群集Cと群集Fを比較しても同様の特性がみられる。中村のRI指数は順位変数を用いて算出されているものの，群集Aと群集E，群集Cと群集Fの区別を数値として表現している。しかし，群集Cと群集Dの区別は，いずれの指数においても表現されていない。これは，それぞれの種に関する環境の指標性が評価に加味されていないためである。これに対し，中村はグループ別RI指数法を提唱している。対象生物種を選定基準（生息環境の特性等）に従いいくつかのグループに分類し，分類された生物種群ごとにそれぞれのRI指数（グループ別RI指数）を求め，レーダーチャートで表現している（第53図）。この結果，生物種群に環境の指標性を持たせ，それぞれの群集構造の違いを表現している。この様にグループ別RI指数を用いた表現は視覚的に分かりやすく，生息環境の区分ごとの生物群集や多様性の解析や表現に活用できると考えられる。調査で得られた情報から海域生態系の特性を表現するためには，それぞれの指数の特徴をよく理解し対象とする群集構造や生物群の特性に合わせて使い分けることが重要であり，今後の環境影響評価への活用が期待される。



第53図　グループごとに求めたRI指数のレーダーチャート（中村（2000）を一部改変）

図中の記号（A～F，グループⅠ～Ⅲ）は第36表に同じ。

あとがき

本手順案は方法書や準備書段階において，海域生態系項目を調査・予測する上で参考となるように作成したものであるが，我が国の海域生態系は地理的にも地形的にも多様で，手順案で示した内容をそのまま適用することが難しい場合も想定される。対象海域が手順案のケーススタディで示した藻場や干潟，サンゴが生息する海域のいずれかに該当する海域であったとしても，生態系を構成する生物や考慮すべき影響要因，環境要素が異なる場合もある。さらに，対象海域が内湾や内海，外海砂浜域であった場合，本手順案のケーススタディ「藻場のある海域」，「干潟のある海域」，「サンゴが生息する海域」は直接参考とはなり難い。しかしながら，予測手順に示した対象となる海域生態系の特性を整理して注目種・群集等の予測項目を絞り込むという基本的な考え方は，そのような海域においても適用可能で，汎用性の広いものである。

手順案では，新しい試みとして予測項目に生態系の機能も取り上げ，ケーススタディでは生息場の機能や水質浄化機能，生物多様性の維持機能についてそれぞれ予測している。しかしながら，それらは海域生態系の一局面をとらえたものであり，全体的な評価に耐える十分な予測とは言い難い。海域生態系の様々な機能に対する影響を多角的に予測し，総合的な評価を可能とするためには，今後なお一層の手法開発が必要である。

本手順案は配慮書段階の生態系影響予測に直接対応したものではないが，配慮書段階で藻場や干潟等に与える影響の程度を把握する場合，ケーススタディに示した方法を参考とすることは可能である。ただし，配慮書段階では多くを既往知見にたよるため，詳細な情報，例えば藻場の構成種や正確な分布範囲等が把握されていない場合が多いと考えられる。そのような条件で具体的にどのような予測評価を実施すべきか今後の検討課題である。

また，発電所の環境影響評価において海域生態系の調査・予測を実施する場合，「海域に生育する植物」や「海域に生息する動物」における調査・予測との調整も必要である。例えば，「海域に生育する植物」や「海域に生息する動物」では，対

象海域に出現する生物種をリストアップし希少種や重要種が生息しているかどうか，生息していた場合，影響はどの程度かを明らかにすることとして，海域生態系では本手順案に示したように動物，植物，その他の調査結果を材料として，注目種・群集や生態系機能への影響を予測することが考えられる。このような実際の環境影響評価における合理化，適切化も今後の課題である。

謝辞

本論文作成にあたりご指導頂いた公益財団法人海洋生物環境研究所中村幸雄博士，同馬場将輔博士並びに東大名誉教授日野明徳博士に謹んで感謝致します。また研究の当初から貴重なご意見，ご指導を頂きました東大名誉教授沖山宗雄博士，同平野禮次郎博士並びに前日本大学大学院教授和田明博士に謹んで深謝致します。本研究にご理解，ご協力を頂いた関係団体，関係各位に感謝申し上げます。

引用文献

畔田正格・池本麗子・東　幹夫（1980）．志々伎湾における底生生活期マダイ当歳魚の分布と成長．西水研研報，**No.54**，259-278.

馬場将輔（2007）．ホンダワラ類8種の初期成長に及ぼす温度と光量の影響．海生研研報，**No.10**，9-20.

馬場将輔（2008）．新潟県産ワカメの生育に及ぼす温度，光量，塩分の影響．海生研研報，**No.11**，7-15.

馬場将輔（2011）．ホンダワラ類8種の発芽体の高温耐性．海生研研報，**No.14**，25-28.

土木学会海岸工学委員会研究現況レビュー小委員会（1994）．海岸波動－波・構造物・地盤の相互作用の解析法－．第１版，土木学会，東京，106-110.

磯部雅彦（1986）.放物型方程式を用いた不規則波の屈折・回折・砕波変形の計算法．第33回海岸工学講演会論文集，134-138.

海洋生物環境研究所（2012）．経済産業省原子力安全・保安院委託平成23年度火力・原子力関係環境審査調査発電所（発電所生態系予測手法検討調査）報告書，1-167.

環境省中国四国地方環境事務所（2006）．平成17年度竜串地区自然再生推進計画調査（海域調査）業務報告書，1-112，資料1-資料51.

環境省中国四国地方環境事務所（2007）．平成18年度竜串地区自然再生事業海域調査業務報告書，1-112，資料1-資料54.

環境省自然環境局山陽四国地区自然保護事務所（2004）．平成15年度竜串地区自然再生推進計画調査（海域調査）報告書，1-216，資料1-資料132.

環境省自然環境局山陽四国地区自然保護事務所（2005）．平成16年度竜串地区自然再生推進計画調査（海域調査）業務報告書，1-215，資料1-資料46

経済産業省原子力安全・保安院（2007）．発電所に係る環境影響評価の手引き．1-553.（http://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/electric/detail/tebiki.htmlより閲覧可能2013年2月1日現在）

木曾克裕（1982）．平戸島志々伎湾におけるマダイ当歳魚個体群の摂餌生態－Ⅱ．食物を中心にみた生息場所の利用について．西水研研報，**No.57**，31-46.

今野敏徳（1985）．ガラモ場・カジメ場の植生構造．月刊海洋科学，**17**，57-65.

港湾空間高度化センター港湾・海域環境研究所（1999）．サンゴ礁と共生する港湾整備マニュアル案．港湾空間高度化センター港湾・海域環境研究所，東京，1-99.

松岡玳良（1962）．ソラスズメダイの産卵生態について．水産増殖，**10**，141-146.

三浦正治・野村浩貴・松本正喜・道津光生（2010）．海藻類４種の生息場適性指数モデル．海生研研報，**No.13**，1-50.

中村寛志（1994）．RI指数による環境評価（1）RI指数の性質と分布．瀬戸内短期大学紀要，**No.24**，37-41.

中村寛志（2000）．生物群集の解析手法と環境アセスメント．信州大学農学部紀要，**36**，1-10.

島本信夫（2004）．マダイの生物学(8)食性．海洋と生物，**26**，357-365.

下茂　繁・秋本　泰・高浜　洋（2000）．海生生物の温度影響に関する文献調査．海生研研報，**No.2**，1-351.

首藤宏幸・池本麗子・畔田正格（1983）．志々伎湾における若魚期マダイの生息場所の評価．

西水研研報，**No.59**，71-84.
土田修二（2002）．沿岸性魚類の温度選好に関する実験的研究．海生研研報，**No.4**，11-66.

（第3表で参考とした環境影響評価関連の資料）

中部国際空港株式会社・愛知県（1999）．中部国際空港建設事業及び空港島地域開発用地埋立造成事業に関する環境影響評価書，6.10-1(465)～6.10-16(480).
大阪市・大阪湾広域臨海環境整備センター（1999）．大阪港新島地区埋立事業及び大阪沖埋立処分場建設事業に係る環境影響評価書，5-319～5-397.
沖縄開発庁沖縄総合事務局（2000）．中城湾港（泡瀬地区）公有水面埋立事業に係る環境影響評価書，5-408～5-425.
運輸省・運輸省第三港湾建設局・徳島県（2000）．徳島飛行場拡張整備事業及び徳島空港周辺整備事業に係る環境影響評価書，1159～1176.
熊本県（2001）．八代港公有水面埋立事業に関する環境影響評価準備書，514～551.
沖縄県（2002）．与那国空港拡張整備事業に係る環境影響評価書，6･9･1～6･9･16.
沖縄県（2005）．新石垣空港整備事業に係る環境影響評価書，6-12-329-6～12-353.
佐賀県（2006）．一般国道444号佐賀福富道路（有明海沿岸道路）環境影響評価書，21-1～21-39.
国土交通省関東地方整備局・国土交通省東京航空局（2006）．東京国際空港再拡張事業に係る環境影響評価書，6-16-1-6-16-38.
岡山県（2006）．水島港（玉島地区）公有水面埋立事業に係る環境影響評価，5-358～5-379
北九州市（2007）．新門司南地区公有水面埋立事業環境影響評価書，6.9-1～6.9-48
北九州市（2010）．北九州市都市計画道路6号線整備事業（門司区新門司三丁目～小倉南区大字朽網）環境影響評価準備書，7-9-1～7-9-96.
沖縄防衛局（2011）．普天間飛行場代替施設建設事業に係る環境影響評価書，（3分冊中2）6-13-1～（3分冊中3）6-3-19-10.