

### 3.4. 気候変動による宍道湖・中海の水質等への影響調査

#### 3.4.1. 概要

##### 3.4.1.1. 背景・目的

鳥取県西部から島根県東部にわたる国内でも有数の汽水域である宍道湖・中海は、平均水深が4～5m程度の浅い汽水湖であり、気候変動に伴う水温の上昇などによる影響に脆弱であるとともに、底層の貧酸素化などの水質の悪化が課題となっている。

汽水湖は気候変動による海面上昇等に伴う塩分濃度上昇によって生態系の変化等の影響を大きく受けると想定されること、塩分躍層などの存在から淡水湖に比べて溶存酸素の不足等が起こりやすいことなどから、気候変動による影響が淡水湖とは異なった形で生じると想定される。そこで気候変動による宍道湖・中海の水質等への影響を予測するとともに、適応策について検討を行った。

##### 3.4.1.2. 実施体制

本調査の実施者： 株式会社地域計画建築研究所

アドバイザー：（国研）海上・港湾・空港技術研究所 港湾空港技術研究所 海洋環境情報研究グループ グループリーダー 井上徹教

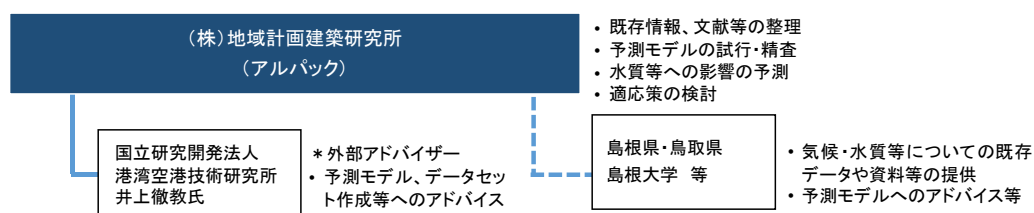


図 3.4.1 実施体制

##### 3.4.1.3. 実施スケジュール（実績）

3年間の調査スケジュールを図3.4.2に示す。

初年度（平成29年度）は、まず、既存の知見について調査を行い、宍道湖・中海の気候や水質、生態系に影響を与える要素について把握し、さらに気候変動によるそれら要素への影響の可能性について整理した。また、将来の水質等の予測方法について検討し、宍道湖・中海に関する既存の水質等観測データを収集して水質予測を行うための最低限のデータセットを作成し、環境予測モデルを用いた水質の再現について試行した。

2年目となる平成30年度は、初年度の成果を踏まえ、環境予測モデルを精査し、水質の再現性を高めると共に、気候シナリオを用いて、将来の宍道湖・中海の水質を予測し、気候変動による影響予測を試行した。

最終年度となる平成31年度は、D0等の水質についても影響評価を試行するとともに、これまで宍道湖、中海を別々にシミュレーションしていたものを連結し、影響予測精度の向上を進めるとともに、適応策の検討を行った。

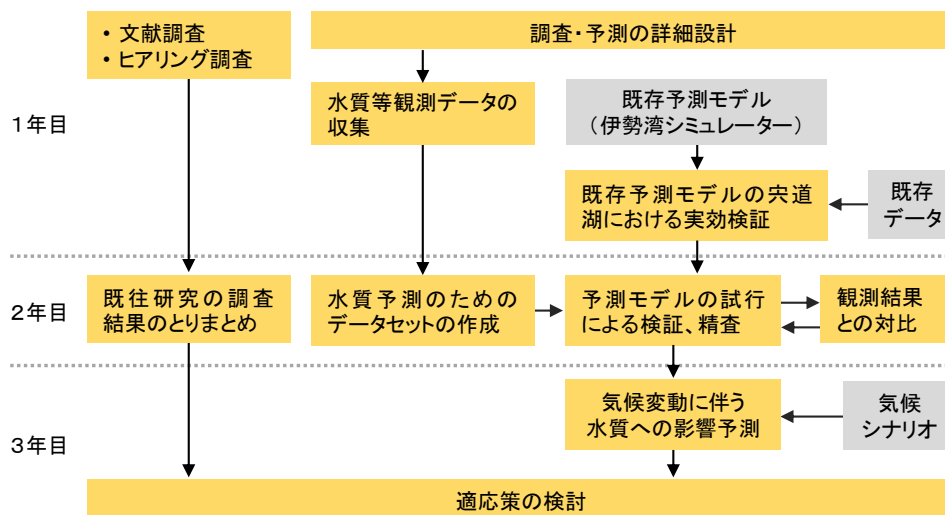


図 3.4.2 3年間の調査フロー

#### 3.4.1.4. 気候シナリオ基本情報

表 3.4.1 気候シナリオ基本情報

| 項目             | 水質（水温、塩分）、塩分躍層の発生、アオコの発生                |                                               |
|----------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 気候シナリオ名        | 気象研究所 2km 力学的 DS データ<br>by 創生プログラム      | 海洋近未来予測力学的<br>ダウンスケーリングデータ<br>by SI-CAT ver.1 |
| 気候モデル          | MRI-CGCM3                               |                                               |
| 気候パラメータ        | 全天日射量、大気放射量<br>大気圧、気温、風速・風向<br>水蒸気圧、降水量 | 海水温、海面高度、<br>塩分                               |
| 排出シナリオ         | RCP8.5                                  |                                               |
| 予測期間/時間<br>解像度 | 21 世紀末 / 時間別                            | 21 世紀末/ 日別                                    |
| 領域/空間解像<br>度   | 宍道湖、中海 / 1km                            | 日本海（境水道） / 2km                                |
| バイアス補正の<br>有無  | 有り（全国）                                  | 無し                                            |

#### 3.4.1.5. 気候変動影響予測結果の概要

##### ① 文献調査

宍道湖・中海は流域の水質は、社会経済活動の発展に伴う富栄養化等により悪化した。宍道湖、中海は昭和 47 年から 48 年にかけて湖沼水質環境基準の類型 A に指定された後、窒素、りん等の規制や下水道の整備など、各種水質保全対策が長期にわたり実施されている。その結果、流入する汚濁負荷量は着実に減少し、湖内の水質も長期的には改善してきたものの、湖沼水質保全計画で定めた水質目標や環境基準は達成できていない。

また、近年は、宍道湖でツツイトモ亜種の水草が大量に繁茂するなど、新たな課題も生じている。

## ② ヒアリング

宍道湖・中海では、これまで、様々な形で水の流れや水質に関するシミュレーションが実施されてきたが、水質などの湖内の環境を十分に再現するには高度な技術が必要である。宍道湖・中海は平均水深が4～5m程度と浅い湖であり、日射や降水、風の影響、潮汐等により、水温や塩分などの基本的な水質も簡単に変わってしまうため、詳細な再現が難しいことが大きい。また、汽水域であるということを考えると、塩分の再現が重要であり、汽水域の特徴である塩分躍層を再現できるシミュレーションの実施が必要であること、その一方で、宍道湖・中海はある程度の外的要因によって湖内の環境が大きく変容することもあり、そうした変化の再現が難しいということがわかった。

## ③ 影響予測

### 【水質（水温、塩分）】

21世紀末の水温上昇は、表層水温は宍道湖、中海とも年平均で約4.0℃と同程度であったが、底層水温は、水深の浅い宍道湖の上昇幅(+3.9℃)が、中海(+3.0℃)よりも大きかった。

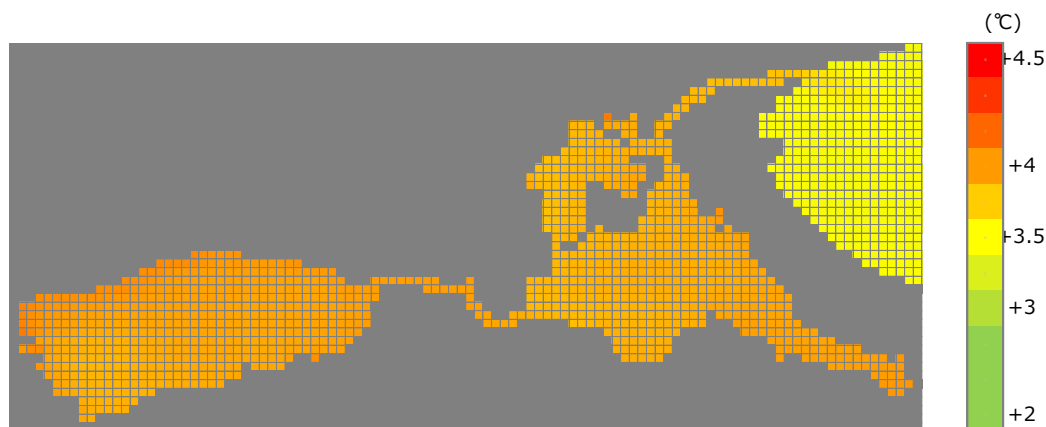


図 3.4.3 現在と 21 世紀末 (RCP8.5) の表層水温の差 (℃) (MRI-NHRCM02)

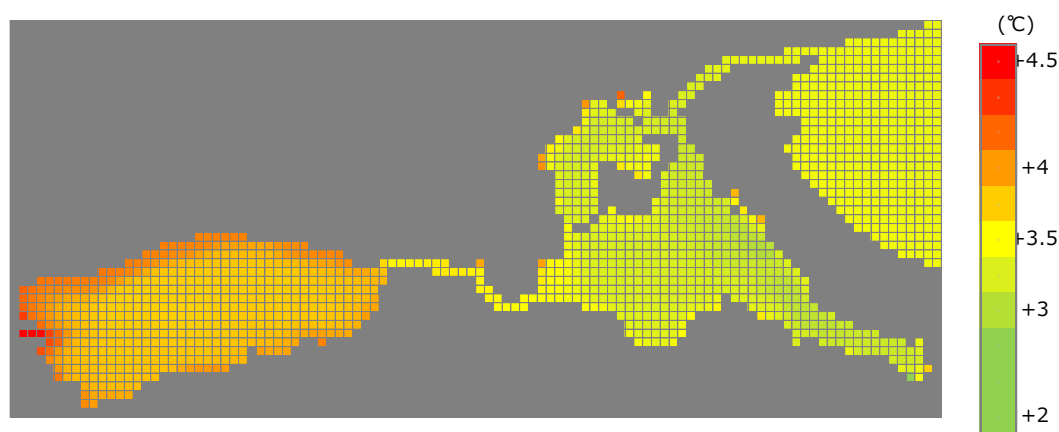


図 3.4.4 現在と 21 世紀末 (RCP8.5) の底層水温の差 (℃) (MRI-NHRCM02)

気候変動に伴い、日本海の海面水位が上昇することによって、宍道湖、中海に流入する塩水が増加し、塩分濃度が上昇する可能性がある。

21 世紀末の塩分も、水温同様に高くなる可能性がある。現在の塩分が比較的低い宍道湖の上昇幅

(表層+2.7PSU、底層+5.4PSU)の方が、中海(表層+1.4PSU、底層+1.0PSU)よりも上昇幅が大きかった。なお、中海よりも宍道湖の方が塩分の上昇幅が大きいのは、中海の方が宍道湖よりも平均水深が深く、湖内の水量が多いため、海水と同程度の濃い塩水が同量程度入ってきた場合であっても、そのインパクトが異なるからと考えられる。

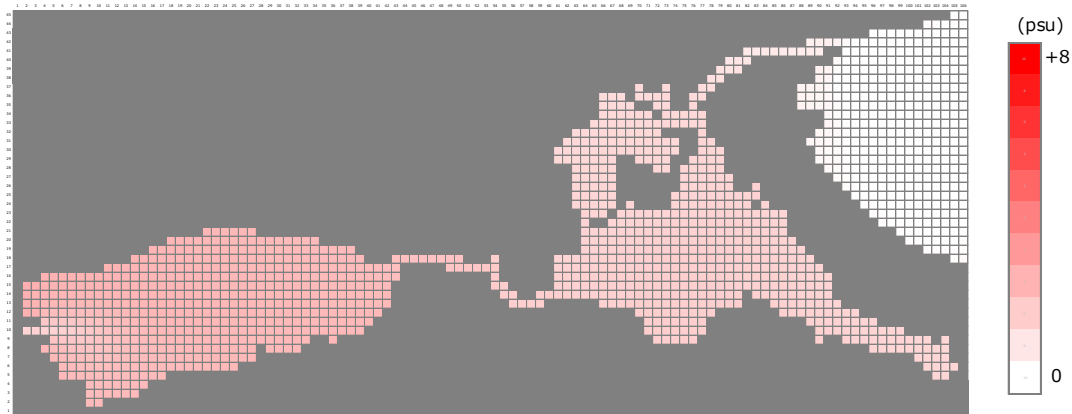


図 3.4.5 現在と 21 世紀末 (RCP8.5) の表層塩分の差 (PSU) (MRI-NHRCM02)

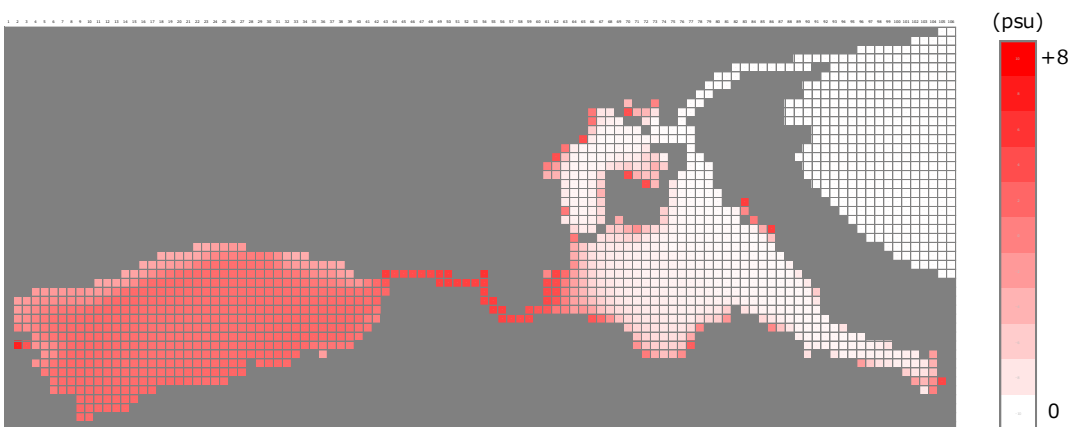


図 3.4.6 現在と 21 世紀末 (RCP8.5) の底層塩分の差 (PSU) (MRI-NHRCM02)

### 【塩分躍層（宍道湖湖心）】

現在に比べ、21 世紀末は塩分躍層が発生している時間が長くなり、発生ピークが 9 月であり、現在よりも 2 ヶ月ほど早まると予測された（RCP8.5）。

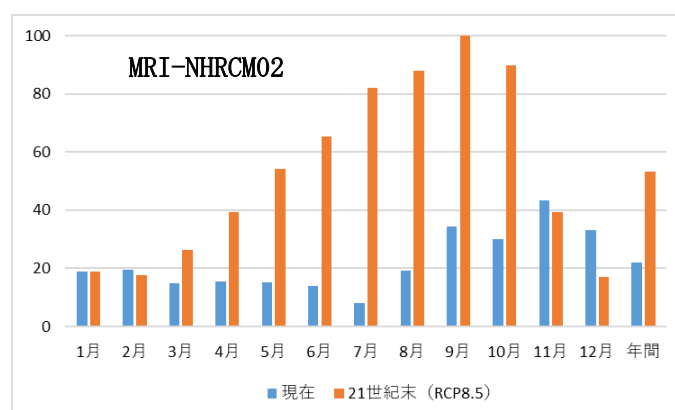


図 3.4.7 宍道湖湖心での塩分躍層が発生している時間の割合

※塩分躍層が形成されている時間数／総時間数

※底層と表層の塩分濃度差が 7PSU 以上の時に、塩分躍層が発生しているとした。

【宍道湖におけるアオコの発生に関する予測】

宍道湖におけるアオコの発生予測式を用いて、現在と 21 世紀末のアオコの発生有無を 1 日単位で予測し、その頻度を比較したところ、21 世紀末は、現在よりも約 2.2 倍発生頻度が高まると予測された。

表 3.4.2 宍道湖湖心におけるアオコの発生頻度

|      | 現在 | 21 世紀末 |
|------|----|--------|
| 発生頻度 | 1  | 2.2    |

※現在の発生頻度を 1 としたときの、21 世紀末の発生頻度。島根県の出しているアオコ発生予測式を用いて、1 日単位で発生有無を推計して集計した。

### 3.4.1.6. 活用上の留意点

#### ① 本調査の将来予測対象とした事項

本調査では、気温上昇が宍道湖・中海の環境に与える影響のうち、水質、特に、水温、塩分といった基礎的な項目を調査の対象とした。また、汽水湖の水質等に大きな影響を及ぼす塩分躍層の発生状況の評価や、アオコの発生頻度の評価を行った。

#### ② 本調査の将来予測の対象外とした事項

将来予測については、平成 29 年時点の国土地理院地図と湖沼図を元に作成した地形データと、主に 2010 年～2012 年の観測値を元に調整したパラメータで実施しており、2013 年に運用を開始した斐伊川放水路などの影響については考慮していない。

水質については、DO、COD、リン、窒素などについても影響予測を試行したが信頼性の高い結果を得るには至らなかった。

### ③ その他、成果を活用する上での制限事項

本調査では、海面上昇の推定に「海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver. 1」、湖面周辺と湖面上とを対象とした「気象研究所 2km 力学的ダウンスケーリングデータ by 創世プログラム」の 2 種の気候シナリオを使用している。専門家のアドバイスから、主には気象研究所 2km 力学的ダウンスケーリングデータを使用し、境界条件となる日本海からの流入水等についてのみ海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータを使用するという手法で気候シナリオを使用しているが、一般的には、性質の異なる複数の気候シナリオを同時に使用することは想定されていないため、留意する必要がある。

#### 3.4.1.7. 適応オプション

適応オプションの概要を表 3.4.3 に示す。

表 3.4.3 適応オプションの概要

| 適応オプション                           | 想定される実施主体 |     |    | 評価結果     |                                                                  |       |      |      |     |               |                |
|-----------------------------------|-----------|-----|----|----------|------------------------------------------------------------------|-------|------|------|-----|---------------|----------------|
|                                   |           |     |    | 現状       |                                                                  | 実現可能性 |      |      |     | 効果            |                |
|                                   | 行政        | 事業者 | 個人 | 普及状況     | 課題                                                               | 人的側面  | 物的側面 | コスト面 | 情報面 | までの時間<br>効果発現 | 期待される<br>効果の程度 |
| 工場等排水対策、生活排水対策、農地対策等によるリン・窒素の流出防止 | ○         | ○   | ○  | 普及が進んでいる | 河川や農地等からの窒素・リンの流入に加えて、気候変動で貧酸素化が進むことにより、湖底からの窒素やリンの溶出増加が懸念されている。 | △     | ◎    | △    | △   | 長期            | 中              |

表 3.4.4 適応オプションの考え方と出典

| 適応オプション                           | 適応オプションの考え方と出典                                                             |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 工場等排水対策、生活排水対策、農地対策等によるリン・窒素の流出防止 | 第 7 期宍道湖沼水質保全計画では、濁水防止として、農地については肥料使用量を減らすとともに、水田における濁流出防止等の管理徹底等が挙げられている。 |

### 3.4.2. 気候シナリオに関する情報

#### 3.4.2.1. 気候シナリオ基本情報

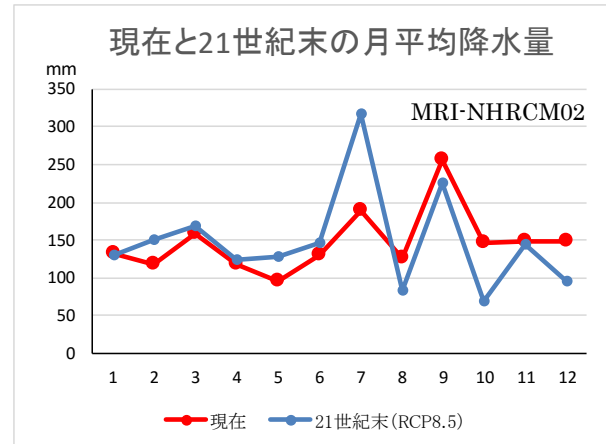
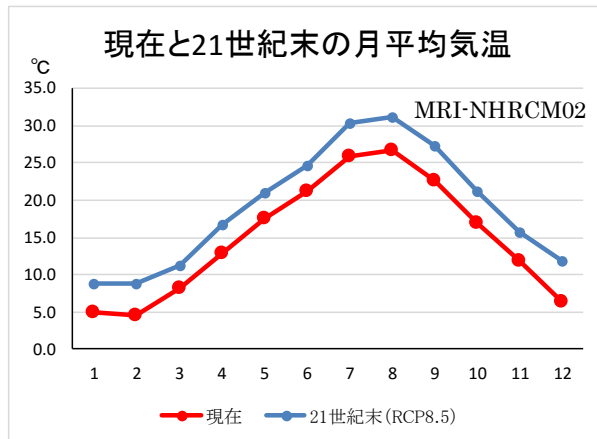
表 3.4.5 気候シナリオ基本情報

| 項目         | 水質（水温、塩分）、塩分躍層の発生、アオコの発生                |                                         |
|------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 気候シナリオ名    | 気象研究所 2km 力学的 DS データ by 創生プログラム         | 海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver. 1 |
| 気候モデル      | MRI-CGCM3                               |                                         |
| 気候パラメータ    | 全天日射量、大気放射量<br>大気圧、気温、風速・風向<br>水蒸気圧、降水量 | 海水温、海面高度、<br>塩分                         |
| 排出シナリオ     | RCP8.5                                  |                                         |
| 予測期間/時間解像度 | 21 世紀末 / 時間別                            | 21 世紀末 / 日別                             |
| 領域/空間解像度   | 宍道湖、中海 / 1km                            | 日本海（境水道） / 2km                          |
| バイアス補正の有無  | 有り（全国）                                  | 無し                                      |

#### 3.4.2.2. 使用した気候パラメータに関する情報

21 世紀末（RCP8.5）の気温は、現在に比べ、年間平均で約 4.1℃上昇していた。特に、冬期の気温上昇が大きく、12 月は約 5.4 度上昇していた。

一方、21 世紀末の降水量は、現在に比べて約 160mm（9%）減少していた。影響予測に用いた気候シナリオでは、特に台風の時期（8～10 月）の減少が大きかった。



| 月  | 現在    | 21世紀末 (RCP8.5) | 変動   |
|----|-------|----------------|------|
| 1  | 4.93  | 8.89           | 3.96 |
| 2  | 4.66  | 8.74           | 4.09 |
| 3  | 8.19  | 11.37          | 3.17 |
| 4  | 12.89 | 16.80          | 3.92 |
| 5  | 17.51 | 21.12          | 3.61 |
| 6  | 21.33 | 24.76          | 3.44 |
| 7  | 25.86 | 30.39          | 4.53 |
| 8  | 26.65 | 31.22          | 4.57 |
| 9  | 22.65 | 27.24          | 4.59 |
| 10 | 16.96 | 21.31          | 4.35 |
| 11 | 11.87 | 15.84          | 3.97 |
| 12 | 6.40  | 11.82          | 5.43 |
| 平均 | 14.99 | 19.13          | 4.14 |

| 月  | 現在     | 21世紀末 (RCP8.5) | 変動    |
|----|--------|----------------|-------|
| 1  | 131.0  | 130.5          | -0.5  |
| 2  | 117.1  | 151.2          | 34.1  |
| 3  | 157.4  | 169.2          | 11.7  |
| 4  | 118.7  | 123.8          | 5.1   |
| 5  | 94.6   | 128.2          | 33.6  |
| 6  | 130.9  | 147.1          | 16.2  |
| 7  | 189.3  | 316.5          | 127.3 |
| 8  | 126.8  | 82.6           | -44.1 |
| 9  | 256.1  | 224.5          | -31.6 |
| 10 | 145.5  | 69.0           | -76.4 |
| 11 | 148.8  | 143.5          | -5.3  |
| 12 | 149.2  | 94.6           | -54.6 |
| 年間 | 1765.4 | 1780.8         | 15.4  |

図 3.4.7 松江における月平均気温と月平均降水量の変化 (MRI-NHRCM02)

### 3.4.2.3. 気候シナリオに関する留意事項

使用した気候パラメータのうち、気象研究所 2km 力学的 DS データ by 創生プログラムの風速については、気候シナリオの値と観測値とで、平均値はそれほど差が見られないものの、気候シナリオ値では実測値に比べ強風及び微風の割合が過小になる傾向にあった。そのため、特に宍道湖では強い季節風が継続することにより躍層が解消されることの多いことから、躍層が解消されにくくなっていると考えられる。そのため、躍層が生じている時間そのもの等の評価ではなく、月別の発生率の違いを評価することとした。

### 3.4.2.4. バイアス補正に関する情報

陸域の気候シナリオについては、全国事業者でバイアス補正されたデータを用いた。海洋シナリオについて、海面高度は観測値とそれほど差が見られなかったことから、潮位についてバイアス補正は行っていない。



### 3.4.2.5. 気候シナリオ選択の理由

陸域については、力学的 DS データが、宍道湖・中海の水面を含む気候シナリオであった。また、宍道湖は東西約 20km、南北 10km、中海が最大で東西 20km、南北 20km であり、宍道湖と中海をつなぐ大橋川の範囲を含めても、東西で 50km、南北 20km と比較的小さな範囲を扱うことから、メッシュの細かな 2km の気候シナリオを採用した。

日本海から宍道湖・中海への海水の流入についてシミュレーションをおこなうためには、日本海の海水温や海面高度の情報が必要であるため、海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver.1 を選択した。

### 3.4.3. 気候変動影響に関する調査手法

#### 3.4.3.1. 手順

影響評価に関する調査手順を図 3.4.8 に示す。

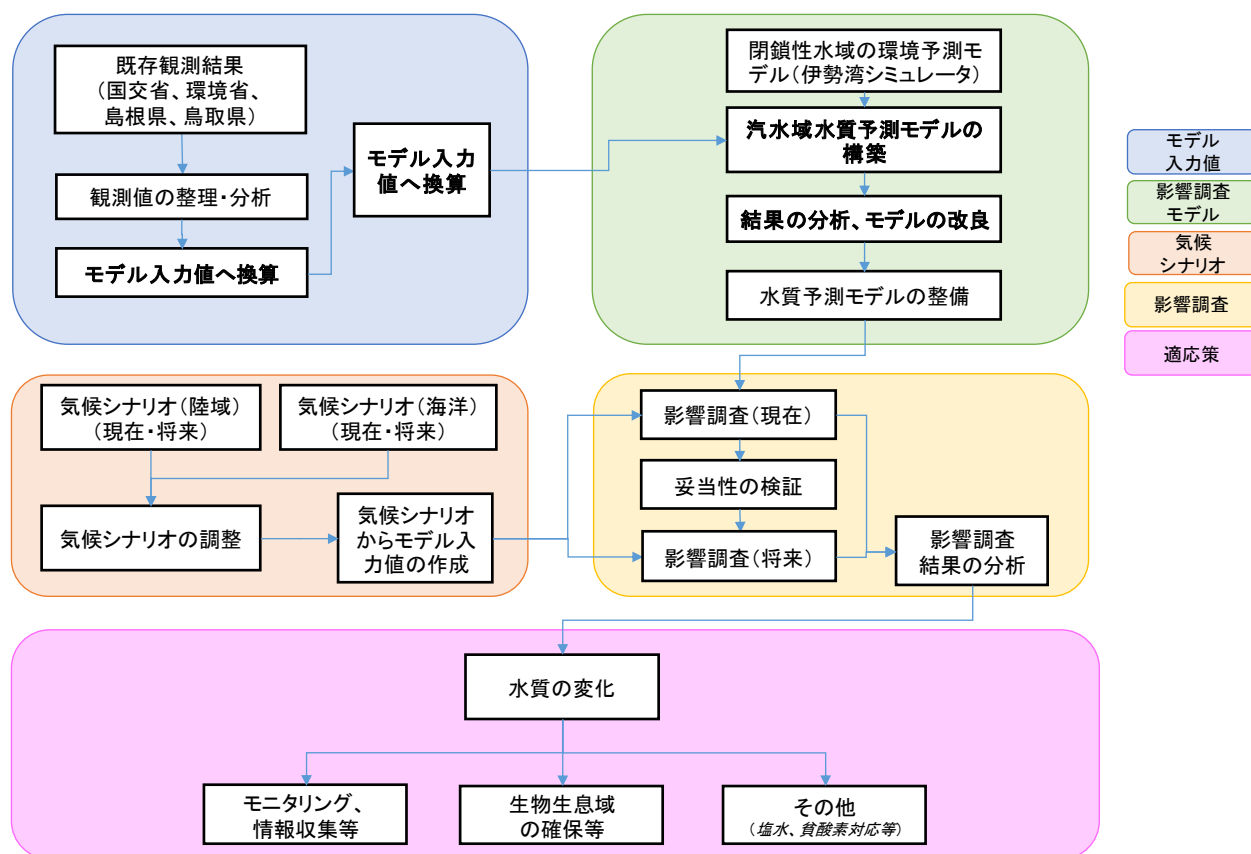


図 3.4.8 気候変動影響に関する調査手順

### 3.4.3.2. 使用したデータ・文献

宍道湖、中海における実測データとして、以下のデータを使用した。

表 3.4.6 使用したデータ等

|                                                                  |  |
|------------------------------------------------------------------|--|
| ■水質等のデータ                                                         |  |
| ・ 宍道湖・中海及び流入河川等の水文水質観測データ（1985-2017 出雲河川事務所の観測データ）               |  |
| ・ 公共用水域水質データ（1985-2017 島根県及び鳥取県の観測データのうち、宍道湖・中海及び流入河川等関連分）       |  |
| ■宍道湖・中海の湖底の水温、塩分濃度、D0 等の観測データ                                    |  |
| ・ 中海・宍道湖漁場環境基礎調査水質調査結果（1985-1995 島根県水産試験場事業報告）                   |  |
| ・ 宍道湖・中海貧酸素水定期観測調査（1997-2013 島根県水産試験場事業報告、島根県水産技術センター年報 （一部欠落有り） |  |
| ■気象データ                                                           |  |
| ・ 松江气象台観測データ（1985-2017 気象庁ホームページよりダウンロード）                        |  |
| ・ 斐川航空気象観測所観測データ（2003-2017 気象庁ホームページよりダウンロード）                    |  |

主な文献は下記の通り。

環境省 水・大気環境局 水環境課（2014）日本の汽水湖～汽水湖の水環境の現状と保全～

環境省 水・大気環境局 水環境課（2013）気候変動による水質等への影響解明調査

中国地方整備局 出雲河川事務所（2009）大橋川改修事業環境調査最終とりまとめ

石飛裕・神谷宏・山室真澄（2014）中海宍道湖の科学—水理・水質・生態系（山陰文化ライブラリー 5）．ハーベスト出版

島根県農林水産部水産課（2018）宍道湖保全再生協議会研究概要報告書

平塚純一・山室真澄・石飛裕（2006）里湖(さとうみ)モク採り物語—50 年前の水面下の世界．生物研究社

内藤了二，澤田玲(2011) 伊勢湾再生への取り組み ～伊勢湾シミュレーターの開発について～．平成 23 年度国土交通省国土技術研究会発表資料

佐藤紗知子，大城等，馬庭章，管原庄吾，神谷宏，大谷修司（2015）宍道湖におけるアオコ発生の環境要因とその事前判別．陸水学雑誌，76:217-223

### 3.4.3.3. 有識者ヒアリング及び意見交換会

#### ① 有識者ヒアリング

|          |                                           |
|----------|-------------------------------------------|
| NO.      | 1                                         |
| ヒアリング対象者 | 海上港湾空港技術研究所 グループリーダー 井上徹教氏                |
| 日付       | 令和元年6月14日、8月2日、11月13日                     |
| 場所       | (株)地域計画建築研究所 大阪事務所                        |
| 概要       | ・シミュレーションの結果やパラメータの調整、適応オプションへの助言等をいただいた。 |

|          |                                           |
|----------|-------------------------------------------|
| NO.      | 2                                         |
| ヒアリング対象者 | 島根大学 エスチュアリー研究センター教授 矢島啓氏                 |
| 日付       | 令和元年10月17日、11月7日、12月26日                   |
| 場所       | 島根大学エスチュアリー研究センター                         |
| 概要       | ・シミュレーションの結果やパラメータの調整、適応オプションへの助言等をいただいた。 |

#### ② 意見交換会

気候変動による宍道湖・中海の水質への影響について、調査結果の進捗報告や適応策についての意見交換、また、各地域の状況について情報共有することを目的とした意見交換会を、調査期間中に2回（本年度は1回）開催した。

|     |                                                                |
|-----|----------------------------------------------------------------|
| NO. | 1                                                              |
| 参加者 | ・宍道湖・中海に関係する行政関係者及び研究者<br>・地域適応コンソーシアム事業関係者（アドバイザー、地域事業者） 計20名 |
| 日付  | 平成31年1月16日(水)14:00～16:00                                       |
| 場所  | 島根県庁会議棟等第1会議室                                                  |
| 項目  | ○水質のシミュレーション及び影響予測について<br>○適応に向けた地域の課題について                     |

|     |                                                                |
|-----|----------------------------------------------------------------|
| NO. | 2                                                              |
| 参加者 | ・宍道湖・中海に関係する行政関係者及び研究者<br>・地域適応コンソーシアム事業関係者（アドバイザー、地域事業者） 計16名 |
| 日付  | 令和元年9月10日(火)15:00～17:00                                        |
| 場所  | 島根県庁会議棟等第2会議室                                                  |
| 項目  | ○水質のシミュレーションについて<br>○将来の影響予測やその対応等について                         |

#### 3.4.3.4. 観測および実証実験

観測および実証実験は行っていない

#### 3.4.3.5. 気候変動影響予測手法の検討

##### ① 21 世紀末の宍道湖・中海の水質、塩分躍層の発生に関する影響予測

宍道湖・中海の水質については、これまでに様々なシミュレーションが実施されている。本調査では、汽水域の水環境に大きな影響を与えている塩分躍層を再現できることを条件として、予測モデルを選択した。結果としては、水質に加えて、水文、水生生物等から構成される水環境を総合的にシミュレーションすることができ、伊勢湾や東京湾など閉鎖性水域において総合的な水環境のシミュレーションの実績がある「伊勢湾シミュレーター」を採択した。

また、塩分躍層の発生については、有識者にヒアリングした結果等を参考にして、表層と底層の塩分濃度が 7PSU 以上ある場合に躍層が発生していると評価し、躍層が発生している時間の違いにより評価することとした。

シミュレーションでは、中海への塩水の流入を評価するに当たり、日本海の海面水位が重要であるが、日本海の水位については、気候モデルの上昇幅に加えて、IPCC 特別報告書で報告された日本近海の水位の上昇幅を加えた値を用いた。

##### ② 宍道湖におけるアオコの発生に関する影響予測

現況において、特に宍道湖では、アオコの発生が見られ、生態系や水産業に大きな影響を与えていることから、島根県は 1 ヶ月前の水温と、1 ヶ月及び 2 ヶ月前の塩化物イオン濃度を用いた判別式を作成し、毎月、アオコの発生予想を行っている（佐藤ら、2015）。本調査の発生予測では、同じ判別式を用いて発生予測を行ったが、月 1 回ではなく、日単位で発生予測を行うこととした。

#### 3.4.3.6. 影響予測モデルに関する情報

##### ① 21 世紀末の宍道湖・中海の水質、塩分躍層の発生に関する影響予測

伊勢湾シミュレーターを用いて、水質、塩分躍層の発生に関する影響予測を行った。伊勢湾シミュレーターは、非静水圧流動モデルの採用、微生物ループを考慮した新しい浮遊生態系モデルの開発等により、塩分や水温、動植物プランクトンの現存量、底層貧酸素化等で高い再現性を有しているモデルである。

水温、塩分濃度については、湖心の表層と底層とを対象とし、現在の月平均水温、塩分と、21 世紀末の月平均水温、塩分の差を評価した。

宍道湖湖心での塩分躍層の発生時間の影響予測においては、表層と底層の塩分濃度の差が 7PSU 以上の時に塩分躍層が発生しているとし、現在の月平均発生時間と 21 世紀末の月平均発生時間とを比較した。

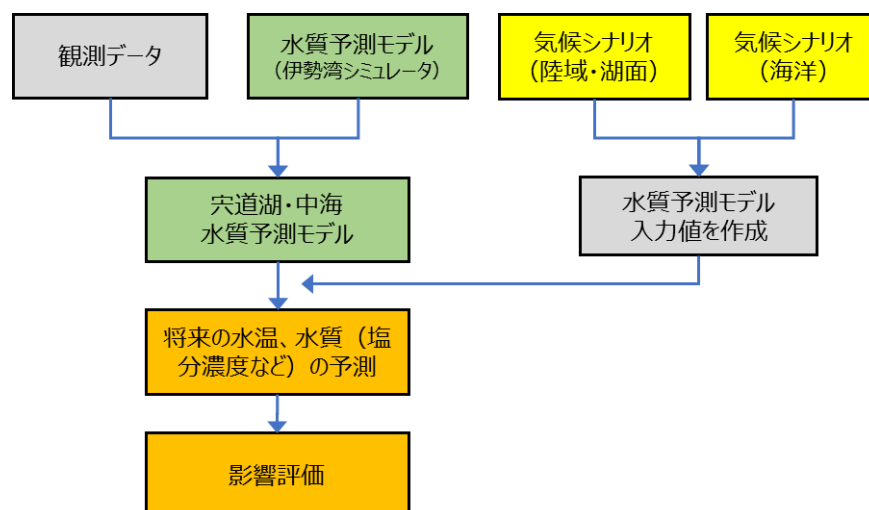


図 3.4.9 宍道湖・中海の水質に関する影響予測フロー

## ② 宍道湖におけるアオコの発生に関する影響予測

アオコの発生予測においては、島根県の出しているアオコ発生の判別式を用いて、1日ごとに発生有無を予測した。

使用した判別式：

$$\text{Analysys } z2 = -0.000908 (Cl^-_1) - 0.000498 (Cl^-_2) + 0.346 (WT_1) - 6.37$$

(\*)： unsuccessfully evaluated

(Cl<sup>-</sup>\_0)： Cl<sup>-</sup> concentration of the index month

(Cl<sup>-</sup>\_1)： Cl<sup>-</sup> concentration of one month before the index month

(Cl<sup>-</sup>\_2)： Cl<sup>-</sup> concentration of two months before the index month

(WT\_1)： water temperature of one month before the index month

### 3.4.3.7. 影響予測に必要な入力パラメータ

宍道湖・中海の水質等のシミュレーションをするため、宍道湖・中海の地形データのほか、シミュレーション期間中の宍道湖・中海の気象データ、河川の水量、水温、水質等のデータ、日本海の潮位、水温、水質等のデータが必要である。なお、シミュレーションにおいては、プランクトンや水草等も予測対象としているが、初期条件はダミーデータとしている。

また、日本海の水位については、気候シナリオから求めた海面高度の上昇幅に、表 3.4.8 の IPCC 特別報告書で示される海面高度の上昇幅を加えた値を用いた。

表 3.4.7 汽水域の影響予測に用いた入力パラメータ

| 項目     | 内容、計算条件等                              | 備 考                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 計算メッシュ | 水平 400m格子<br>鉛直 20cm                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 宍道湖・中海とそれをつなぐ大橋川について、連結して計算している。</li> <li>・ 試行では 200m格子や 800m格子等、他のパターンの計算も行った。</li> </ul>                                                                                                      |
| 気候データ  | 気温、気圧、日射量、降水量、風速、風向、海面高度              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 気候シナリオのデータから、伊勢湾シミュレータの入力値を作成した。</li> <li>・ 松江气象台のある地点のデータを利用した。</li> <li>・ 美保関の海面高度については、国土交通省水文水質データベースのデータを利用した。</li> </ul>                                                                  |
| 河川データ  | 斐伊川及びその他の宍道湖・中海に流入する河川（18河川）の水量、水温、水質 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 流量を測定しているのは斐伊川のみであるため、斐伊川の水量の季節変動を他の河川に当てはめた。</li> <li>・ 河川別の年トータルの水量は、気候シナリオから流域面積における降水量を算出し、斐伊川と当該河川の降水量比で設定した。</li> <li>・ 他に、溶存物質、浮遊物質等のデータも整理した。（DO、COD、TN、TP、TC、NH4、NO2、PO4 等）</li> </ul> |
| その他    | 他に計算に用いたパラメータ等                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ DO の計算等に当たっては、湖内の水草や植物プランクトン、動物プランクトン等もパラメータとして用いた。ただし、これらについては、初期条件を与えるのが困難であるため、ダミーデータを与えてシミュレーションを行った。</li> </ul>                                                                            |

表 3.4.8 シミュレーションに用いた海面高度の上昇幅

| year | RCP2.6 | RCP8.5 |
|------|--------|--------|
| 2085 | 0.37   | 0.63   |
| 2086 | 0.375  | 0.643  |
| 2087 | 0.379  | 0.657  |
| 2088 | 0.383  | 0.67   |
| 2089 | 0.388  | 0.684  |
| 2090 | 0.392  | 0.696  |
| 2091 | 0.396  | 0.711  |
| 2092 | 0.4    | 0.724  |
| 2093 | 0.405  | 0.739  |
| 2094 | 0.41   | 0.754  |
| 2095 | 0.413  | 0.767  |
| 2096 | 0.417  | 0.782  |
| 2097 | 0.421  | 0.797  |
| 2098 | 0.426  | 0.812  |
| 2099 | 0.43   | 0.828  |
| 2100 | 0.435  | 0.842  |

出典：IPCC 特別報告書

### 3.4.3.8. 影響予測における留意事項（制限事項）

【影響予測で考慮していない事項や、制限事項、モデルの特徴など手法による制約事項等を記載】  
本調査では、海面上昇の推定に「海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver. 1」、湖面周辺と湖面上とを対象とした「気象研究所 2km 力学的ダウンスケーリングデータ by 創世プログラム」の 2 種の気候シナリオを使用している。一般的には、性質の異なる複数の気候シナリオを同時に使用することは想定されていないため、留意する必要がある。

### 3.4.4. 調査結果

#### 3.4.4.1. 文献調査結果

##### ① 宍道湖・中海の特性

宍道湖・中海は汽水域であり、淡水湖と異なる性質を持っている。「日本の汽水湖～汽水湖の水環境の現状と保全～」（平成 26 年 環境省 水・大気環境局水環境課）によると、汽水域の特徴として、有機物や栄養塩類など様々な物質が集積し生物生産性が高いことなどがあげられるとともに、水理・水質の特性として、塩分躍層が発生しやすいこと、淡水湖に比べて躍層が強固なため底層の貧酸素化等が起こりやすいことがあげられ、塩分濃度や DO(溶存酸素濃度)が汽水域の水質に重要であることが示されている。

また、宍道湖・中海の特徴としては、以下の特徴が報告されている（石飛裕・神谷宏・山室真澄（2014）中海宍道湖の科学—水理・水質・生態系（山陰文化ライブラリー 5）。ハーベスト出版）。

中海は、潮汐によって日本海から定期的に塩水が流入することにより、塩分の濃度が概ね海水の 1/2 程度に保たれている。また、上層と底層の間の塩分躍層が安定しており、湖底の貧酸素化が起こりやすい。宍道湖は中海に比べ塩分濃度が低い、中海から大橋川を通じた塩水遡上があり、中海同様に上層と底層との間に塩分躍層が形成されているため、温暖な時期を中心に湖底の貧酸素化が起こりやすい。なお、宍道湖は中海に比べて浅いこと、湖底から躍層までの距離が短いことから、強風等によって塩分躍層が解消されやすい。

##### ② 気候変動が宍道湖・中海の水質等に与える影響

「気候変動による水質等への影響解明調査」（2013 環境省 水・大気環境局 水環境課）では、気候変動が公共水域の水質に及ぼす影響を取りまとめており、宍道湖・中海の水質にも当てはまる要素としては、水温上昇や底層の溶存酸素濃度の低下などがある。

また、汽水域の水質にとって重要な塩分濃度について検討すると、日本海の水位が上がると中海への海水の流入が増えるため塩分濃度が今よりも一般的な海水の濃度に近くなる可能性があること、台風等の回数や規模が増加すると中海から宍道湖への塩水遡上が起こりやすくなり塩分濃度が増加する可能性があること、斐伊川を始めとした流入河川の流量等が変化した場合に流入量の増減により宍道湖・中海の塩分濃度が増減する可能性があることが考えられる。

#### 3.4.4.2. 有識者ヒアリングの結果

宍道湖・中海の汽水湖の水質を評価しようとする場合、汽水湖の水質や生態系等に総合的に大きな影響を与える塩分躍層を高い精度でシミュレーションすることが重要であるという指摘をいただ

き、鉛直方向のメッシュを細かくできる非静水圧モデルの伊勢湾シミュレーターを用いることとした。

また、塩分躍層の解消は天候に大きく影響を受けていること、中海については、低気圧が接近している時の中海からの塩水の浸入や成層の解消などの挙動が重要であることから、気象条件と塩分の関係をチェックするのがよいという指摘をいただいた。また、宍道湖では弱い風でも成層が解消することがあるが、そうした場合の水位や風速についても確認することが重要であるという指摘をいただいた。

また、シミュレーションに用いるデータについては、データのクリーニングや欠落値の扱いなどについて助言をいただいた。

#### 3.4.4.3. 観測や実証実験の結果

観測や実証実験は行っていない。

#### 3.4.4.4. 気候変動影響予測結果

##### ① 水質（水温、塩分）

将来予測の結果のうち、表層水温と底層水温について現在と21世紀末（RCP8.5）とを比較した結果、宍道湖湖心の表層水温については、現在に比べ、21世紀末（RCP8.5）は宍道湖、中海とも湖内平均で約4.0℃上昇していた。一方、底層水温については、現在に比べ、21世紀末は湖内平均で約3.9℃（宍道湖）、約3.0℃（中海）上昇していた。

表層及び底層塩分の将来予測では、現在に比べ、21世紀末の表層塩分は湖内平均で約2.7PSU上昇（宍道湖）、約1.4PSU上昇（中海）していた。一方、底層塩分については、現在に比べ、21世紀末（RCP8.5）は湖内平均で約5.4PSU上昇（宍道湖）、約1.0PSU上昇（中海）していた。気候変動に伴い、日本海の海面水位が上昇することによって、宍道湖、中海に流入する塩水が増加し、塩分濃度が上昇する可能性が考えられる。



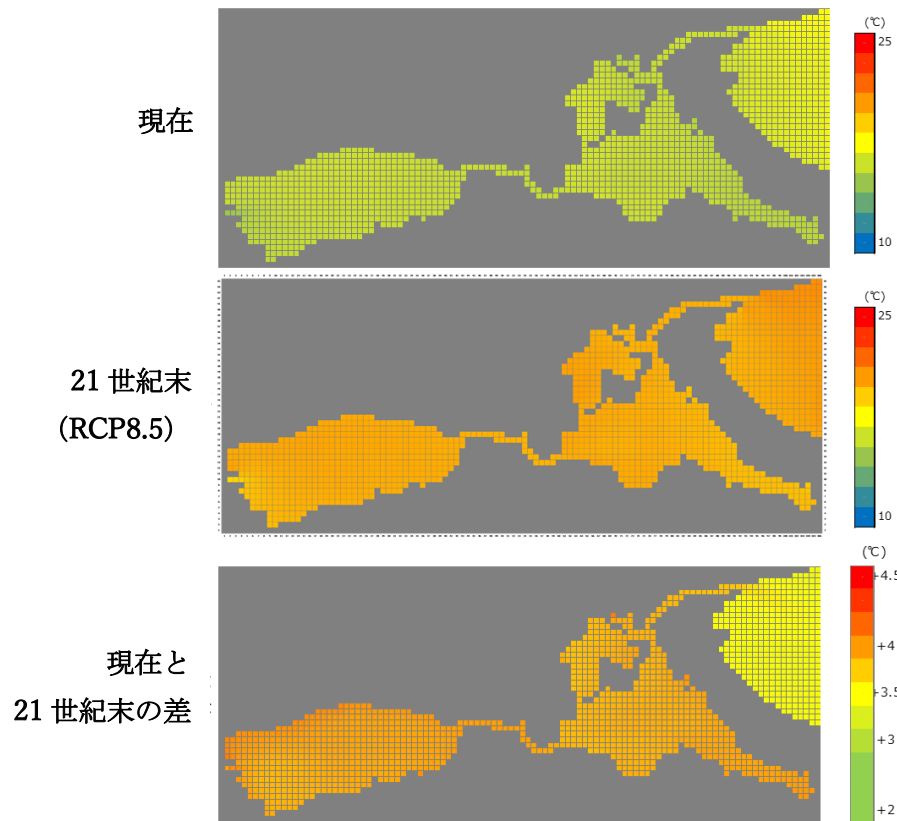


図 3.4.3 宍道湖・地中海の表層水温 (MRI-NHRCM02)

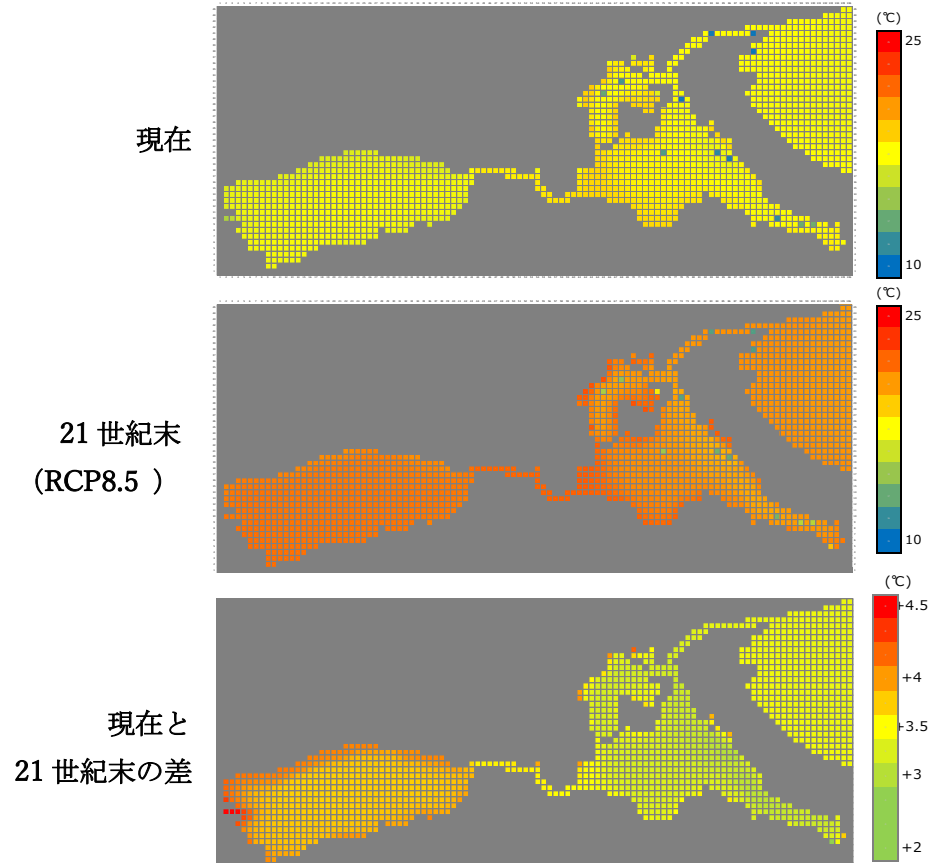


図 3.4.4 宍道湖・地中海の底層水温 (MRI-NHRCM02)

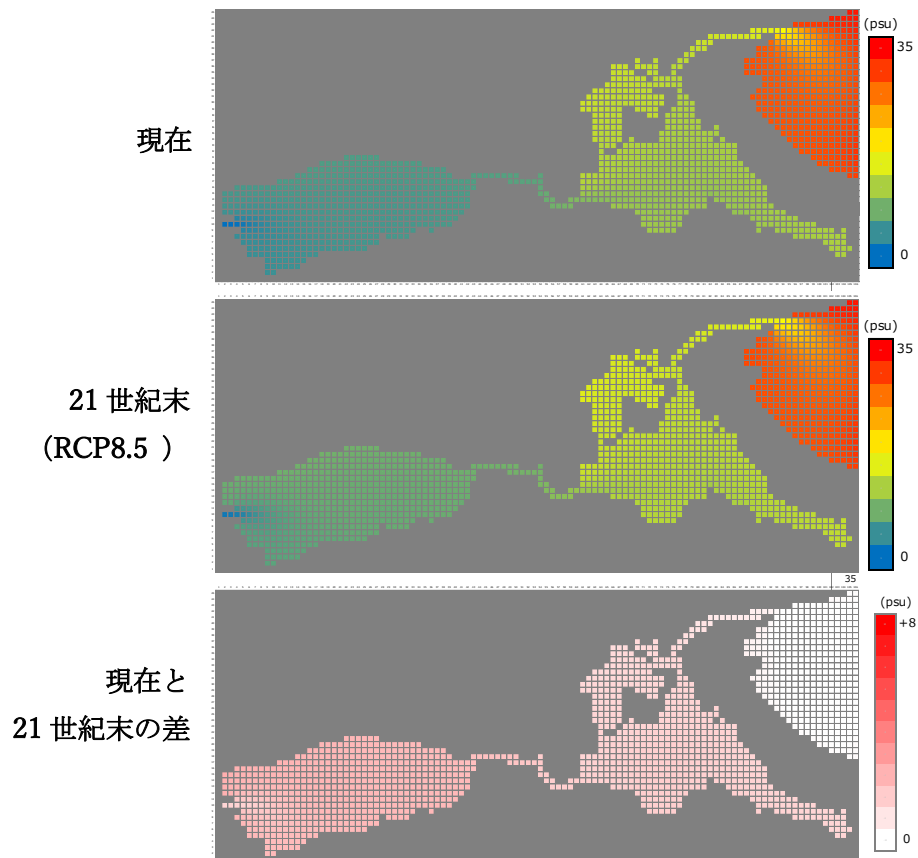


図 3.4.12 黒海・地中海の表層塩分 (MRI-NHRCM02)

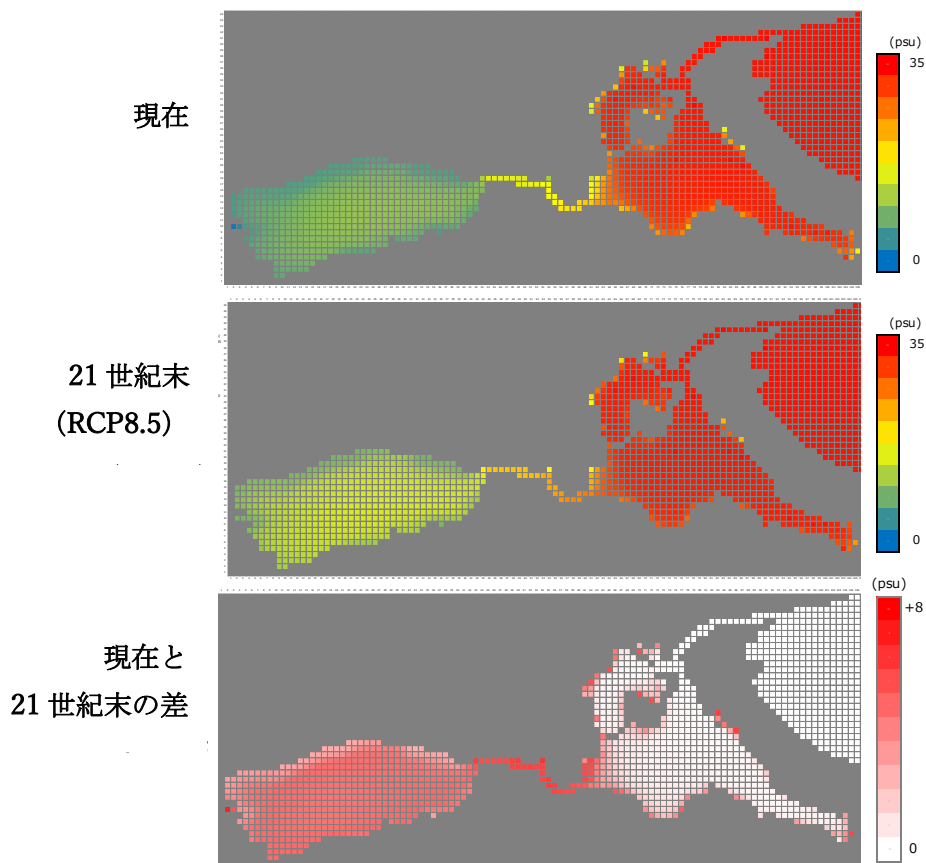


図 3.4.13 黒海・地中海の底層塩分 (MRI-NHRCM02)

## ② 塩分躍層（宍道湖湖心）

宍道湖・中海では、塩分躍層ができていることが多くあり、気候変動の結果として、躍層の発生時期が拡大する可能性がある。そこで、宍道湖湖心の底層と表層の塩分が 7PSU 以上開いた状態を躍層が発生しているとみなし、その発生時間の割合を、月別に、現在と、21 世紀末（RCP8.5）とで比較した。

現在は、躍層の発生頻度としては、9 月から 12 月が多かったが、21 世紀末（RCP8.5）では、7 月から 10 月までの発生が多い。また、ピークの時期は、現在が 11 月であるのに対し、21 世紀末は 9 月になることが予測された。

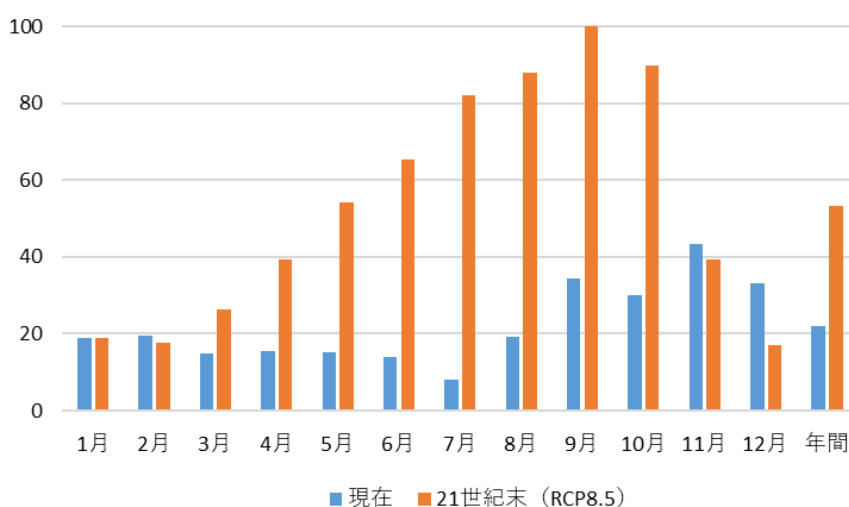


図 3.4.14 宍道湖湖心で塩分躍層が発生している時間

※塩分躍層が形成されている時間数/総時間数

※底層と表層の塩分濃度差が 7psu 以上の時に、塩分躍層が発生しているとした

## ③ 宍道湖湖心におけるアオコの発生

現況において、特に宍道湖ではアオコの発生が見られ、生態系や水産業に大きな影響を与えている。そのため、島根県は水温と塩分による判別式を用いた発生予想を行っている。

宍道湖におけるアオコの発生予測式を用いて、現在と 21 世紀末のアオコの発生有無を 1 日単位で予測し、その頻度を比較したところ、21 世紀末は、現在よりも約 2.2 倍発生頻度が高まると予測された。

なお、塩分の高い中海では、アオコではなく赤潮が課題となっているため、赤潮の発生確率が課題となってくる可能性があると思込まれる。

表 3.4.9 宍道湖湖心でのアオコの発生頻度

|      | 現在 | 21 世紀末 |
|------|----|--------|
| 発生頻度 | 1  | 2.2    |

※島根県の用いているアオコ発生予測式（佐藤ら 2015）を用いて、日単位で発生有無を推計して集計した。

※現在の発生頻度を 1 としたときの、21 世紀末の発生頻度である。

### 3.4.4.5. 結果を活用する上での留意点・制限事項

#### ① 本調査の将来予測対象とした事項

本調査では、気温上昇が宍道湖・中海の環境に与える影響のうち、水質、特に、水温、塩分といった基礎的な項目を調査の対象とした。また、汽水湖の水質等に大きな影響を及ぼす塩分躍層の発生状況の評価や、アオコの発生頻度の評価を行った。

#### ② 本調査の将来予測の対象外とした事項

将来予測については、平成 29 年時点の国土地理院地図と湖沼図を元に作成した地形データと、主に 2010 年～2012 年の観測値を元に調整したパラメータで実施しており、2013 年に運用を開始した斐伊川放水路などの影響については考慮していない。

水質については、DO についても試行し、その中で COD、リン・窒素などについても影響予測を試行したが信頼性の高い結果を得るには至らなかった。

#### ③ その他、成果を活用する上での制限事項

本調査では、海面上昇の推定に「海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver. 1」、湖面周辺と湖面上とを対象とした「気象研究所 2km 力学的ダウンスケーリングデータ by 創世プログラム」の 2 種の気候シナリオを使用している。専門家のアドバイスから、主には気象研究所 2km 力学的ダウンスケーリングデータを使用し、境界条件となる日本海からの流入水等についてのみ海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータを使用するという手法で気候シナリオを使用しているが、一般的には、性質の異なる複数の気候シナリオを同時に使用することは想定されていないため、留意する必要がある。

### 3.4.5. 適応オプション

#### 3.4.5.1. 手順

適応オプションの検討の流れを図 3.4.5 に示した。適応オプションの検討に当たっては、文献やヒアリング調査、また、地方公共団体の情報提供を元に、既存の適応策を含めた適応オプションについてリストアップし、評価を行った。

さらに、その後、検討した適応オプションについて、有識者へのヒアリングや県との打ち合わせを行い、最終的な適応オプションを決定した。

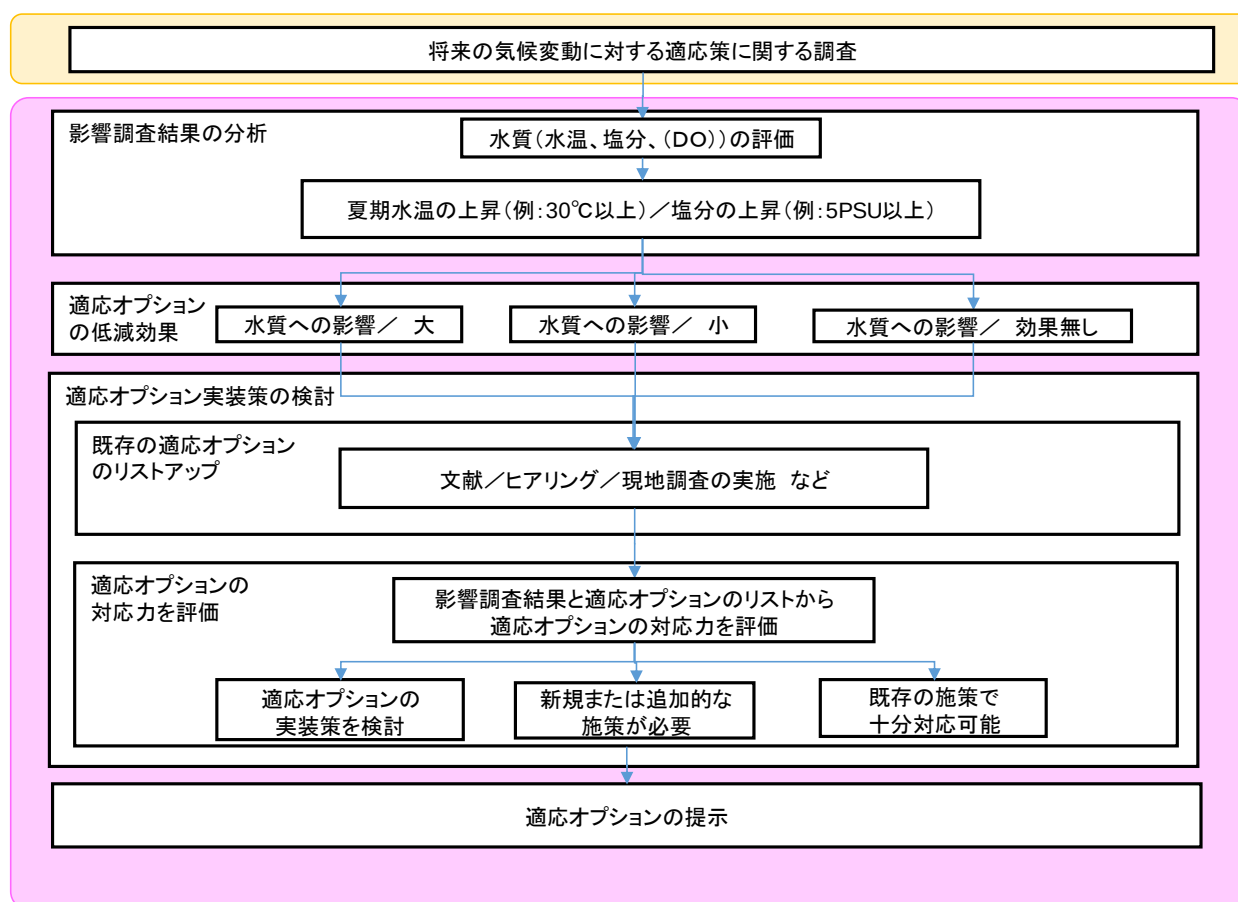


図 3.4.5 適応オプションの検討の流れ

### 3.4.5.2. 概要

適応オプションの概要を表 3.4.10 に示す。

表 3.4.10 適応オプションの概要

| 適応オプション                            | 想定される実施主体 |     |    | 評価結果     |                                                                   |       |      |      |     |               |                |
|------------------------------------|-----------|-----|----|----------|-------------------------------------------------------------------|-------|------|------|-----|---------------|----------------|
|                                    |           |     |    | 現状       |                                                                   | 実現可能性 |      |      |     | 効果            |                |
|                                    | 行政        | 事業者 | 個人 | 普及状況     | 課題                                                                | 人的側面  | 物的側面 | コスト面 | 情報面 | までの時間<br>効果発現 | 期待される<br>効果の程度 |
| ・工場等排水対策、生活排水対策、農地対策等によるリン・窒素の流出防止 | ○         | ○   | ○  | 普及が進んでいる | ・河川や農地等からの窒素・リンの流入に加えて、気候変動で貧酸素化が進むことにより、湖底からの窒素やリンの溶出増加が懸念されている。 | △     | ◎    | △    | △   | 長期            | 中              |

表 3.4.11 適応オプションの考え方と出典

| 適応オプション                            | 適応オプションの考え方と出典                                                           |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| ・工場等排水対策、生活排水対策、農地対策等によるリン・窒素の流出防止 | 第7期宍道湖沼水質保全計画では、濁水防止として、農地については肥料使用量を減らすとともに、水田における濁流出防止等の管理徹底等が挙げられている。 |

### 3.4.5.3. 工場等排水対策、生活排水対策、農地対策等によるリン・窒素の流出防止

宍道湖、中海は富栄養化した湖であり、気候変動によって水温や塩分が上昇することにより、貧酸素化が進み、湖底から窒素やリンの溶出が増える可能性があるとして懸念されている。

現在、宍道湖・中海は、湖沼水質保全特別措置法に基づく指定湖沼として指定を受けており、鳥取・島根両県が共同して、平成元年度以降湖沼水質保全計画を策定し、水質改善に向けて下水道の整備等の水質保全対策を総合的かつ計画的に推進するなどの取組をしており、こうした湖内への窒素やリンの流入を減らすことで、こうした影響を抑制できる可能性がある。

## 参考文献一覧

環境省 水・大気環境局 水環境課 (2014) 日本の汽水湖～汽水湖の水環境の現状と保全～

環境省 水・大気環境局 水環境課 (2013) 気候変動による水質等への影響解明調査

島根県環境政策課 宍道湖・中海対策推進室 宍道湖・中海環境

[http://www.pref.shimane.lg.jp/infra/kankyo/kankyo/shinjiko\\_nakaumi/](http://www.pref.shimane.lg.jp/infra/kankyo/kankyo/shinjiko_nakaumi/)

中国地方整備局 出雲河川事務所 (2009) 大橋川改修事業環境調査最終とりまとめ

石飛裕・神谷宏・山室真澄 (2014) 中海宍道湖の科学—水理・水質・生態系 (山陰文化ライブラリー 5). ハーベスト出版

島根県農林水産部水産課 (2018) 宍道湖保全再生協議会研究概要報告書

島根県環境生活部環境政策課(汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ) (2016) 汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ報告書

湖沼技術研究会 (2007) 湖沼における水理・水質管理の技術

平塚純一・山室真澄・石飛裕 (2006) 里湖(さとうみ)モク採り物語—50 年前の水面下の世界. 生物研究社

汽水域の河川環境の捉え方に関する検討会 (2008) 汽水域の河川環境の捉え方に関する手引書

石飛裕・神谷宏・横山康二・熊谷道夫・奥田節夫 (1999) 潟湖, 宍道湖への塩水侵入条件. 陸水学会誌 60 : 439-452

石飛裕・神谷宏・糸川浩司 (1993) 汽水湖, 宍道湖の水位変動に及ぼす潮汐, 気象, 水文の影響. 陸水学会誌 54 (1) : 69-79,

溝山勇・大屋敬之・福岡捷二 (2011) 連結系汽水湖における流動機構と長期流動シミュレーション. 土木学会論文集 B1(水工学) 67(3) : 101-120

丸茂恵右・横田瑞郎 (2012) 貧酸素水塊の形成および貧酸素の生物影響に関する文献調査. 海生研報 15 : 1-21

森脇晋平・藤井智康・福井克也 (2003) 大橋川における高塩分水塊の遡上現象. LAGUNA(汽水域研究) 10 : 35-45

相崎守弘 (2003) 貧酸素水塊解消のための中海水質シミュレーション. LAGUNA(汽水域研究) 10 : 87-99

島根県環境政策課 (2017) 平成 28 年版島根県環境白書

[http://www.pref.shimane.lg.jp/infra/kankyo/kankyo/kankyo\\_hozen/hakusyo.html](http://www.pref.shimane.lg.jp/infra/kankyo/kankyo/kankyo_hozen/hakusyo.html)

内藤了二, 澤田玲 (2011) 伊勢湾再生への取り組み ～伊勢湾シミュレーターの開発について～. 平成 23 年度国土交通省国土技術研究会発表資料

森脇晋平・大北晋也 (2003) 中海に出現する貧酸素水塊の海況学的特性と海洋構造. LAGUNA(汽水域研究) 10 : 27-34

佐藤紗知子, 大城等, 馬庭章, 管原庄吾, 神谷宏, 大谷修司 (2015) 宍道湖におけるアオコ発生の環境要因とその事前判別. 陸水学雑誌 76 : 217-223