

第4章 温暖化予測の現状と海水温、海面上昇の設定

4.1 地球温暖化の影響評価に用いる予測データの考え方

地球温暖化に伴う海水温及び海面水位の上昇に関して、科学的にみて最も確度の高い報告書は、IPCC 第3次報告書である。IPCC 第3次報告書によると、地表面の気温（世界全体平均）は1,990年から2,100年において最大5.8℃上昇すると予測しており、これに伴って海水の表面水温は最大で約3℃上昇し、海水面も最大で88cm上昇するものと予想されている。但し、IPCCの予測は数百km格子の全球規模の予測結果であるため、日本周辺の地域的な地球温暖化の影響を検討するには、空間的な分解能が相当粗い。一方、日本周辺を対象とした最新の地球温暖化予測結果（地球温暖化予測情報第5巻、気象庁、平成15年3月）が公表されており、全球モデルでの空間分解能はIPCCの予測と同程度であるが、日本周辺海域に限りNOAAの海表面水温データを用いて20km格子まで海表面水温予測値を補間したデータセットが作成されている。

「地球温暖化に対応した漁場、漁港漁村対策調査」では、地球温暖化による日本周辺の漁業に及ぼす影響を検討することから、地域的な地球温暖化の影響の相違を検討することが可能な気象庁の地球温暖化予測データを影響評価に用いる基本データセットとする。なお、地球温暖化の影響は地球温暖化シナリオの違いによって、将来の予測結果も大きく異なることから、IPCCの予測結果を参考にして、気象庁の予測結果にシナリオ毎の相違による変動幅を設定して評価するものとする。

4.1.1 IPCCの知見

IPCCにおける温暖化シナリオは、416個のシナリオを分析した上で、4つの主要なストーリーライン（A：経済成長を重視、B：環境を重視、1：世界化が進展する、2：地域主義が強まる）を定めた。人口、経済成長率、エネルギー消費量、技術進歩といったシナリオを決定付ける要因について、それぞれ4つのストーリーラインの性格に相応した数字を与えて計算を行った結果、40のシナリオが作られた。各シナリオはストーリーライン毎に「ファミリー」と呼ばれる複数のシナリオ群、即ちA1ファミリー、A2ファミリー、B1ファミリー及びB2ファミリーに振り分けられている（図4-1-1）。気象庁が採用したA2シナリオファミリーは4つのストーリーラインの中では最悪シナリオに近いものである。IPCCの第3次報告書によると、気温上昇では全シナリオの最大値が5.8℃に対し、A2シナリオの最大値は2.8～4.8℃、海面水位上昇では全シナリオの最大値が88cmに対し、A2シナリオの最大値は15～75cmである。

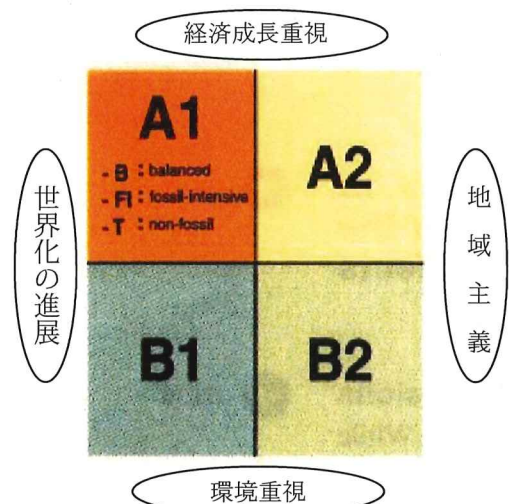


図 4-1-1 温暖化シナリオファミリーの分類

4.1.2 気象庁の知見

(1)概要

気象庁の予測モデルは、①太陽からの放射をエネルギー源として大気・海洋・陸地・雪氷・生物圏等の間での複雑な相互作用を物理法則に基づいて数式化モデル化した大気大循環モデルと、

②大気との熱収支や淡水流入、風の接線応力等を物理法則に基づいて数式化・モデル化した海洋大循環モデルを結合させた、全球大気・海洋結合モデル（MRI-CGCM）と呼ばれている。

### (2) 予測結果の空間分解能

予測結果の空間分解能は大気と海洋で異なり、日本周辺の海洋では経度方向 2.5 度、緯度方向 2 度、水深方向には 23 層に分割されている。なお、日本周辺の表層水温のみ NOAA の実測データを参考に 20km 格子にダウンサイジングされた SST（Sea Surface Temperature）データが計算されている。

### (3) 予測時期の取り扱い

気象庁の予測結果は日単位で出力されるが、長期的な変動の検討に用いる予測結果としては 30 年平均（WMO の平年値に準拠）で平滑処理\*がなされている。基本の数値データは気象庁の予測結果を用いることから、本調査においても同じ取り扱いとすることが適当である。

※地球温暖化予測情報第 5 巻に掲載されている長期予測結果は、2,071 年から 2,100 年までの 30 年平均値。

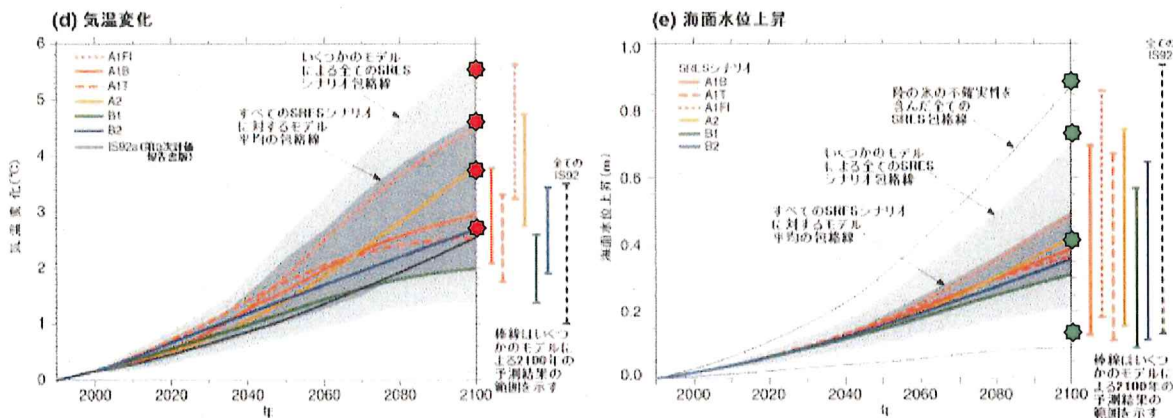
※特定年月日の予測結果を議論できるモデルではない。

※中間時期(短期・中期)の資料作成は可能であるが、第 5 巻に掲載する予定は無い。

## 4. 2 シナリオの違いによる予測結果の振れ幅

### 4. 2. 1 IPCCシナリオ

IPCC 第 3 次報告書によれば、温暖化の影響はシナリオの違いにより、将来の予測結果が大きく異なる。図 4-2-1 に IPCC の予測結果（気温変化と海面水位上昇）を示す。海表面水温は気温変化の半分程度とされていることに留意すると、2,100 年の海表面水温の予測値（全球平均）は A2 シナリオ最小値から、全シナリオ最大値まで 1.4℃～2.9℃の振れ幅を持つ。同様に、海面水位上昇は 15cm～90cm の振れ幅を持つ。



考え方	気温(水温)上昇値(℃)	海面上昇(cm)
全シナリオ最大値	5.8(2.9)	90
A2 シナリオ最大値	4.8(2.4)	75
A2 シナリオ平均値	3.8(1.9)	40
A2 シナリオ最小値	2.8(1.4)	15

図 4-2-1 シナリオの違いによる予測結果の振れ幅

※ IPCC 第 3 次報告書から、2,100 年の予測結果から読み取った数値。

※ 水温上昇値は気温上昇値の 50%とされる。



#### 4. 2. 2 気象庁の予測結果とIPCC の予測結果との比較

気象庁の予測は IPCC の A2 シナリオに準拠して実施されているが、その予測結果は海面水位と海表面水温ともに、IPCC 予測結果の A2 シナリオ群の最小値と同等程度である。

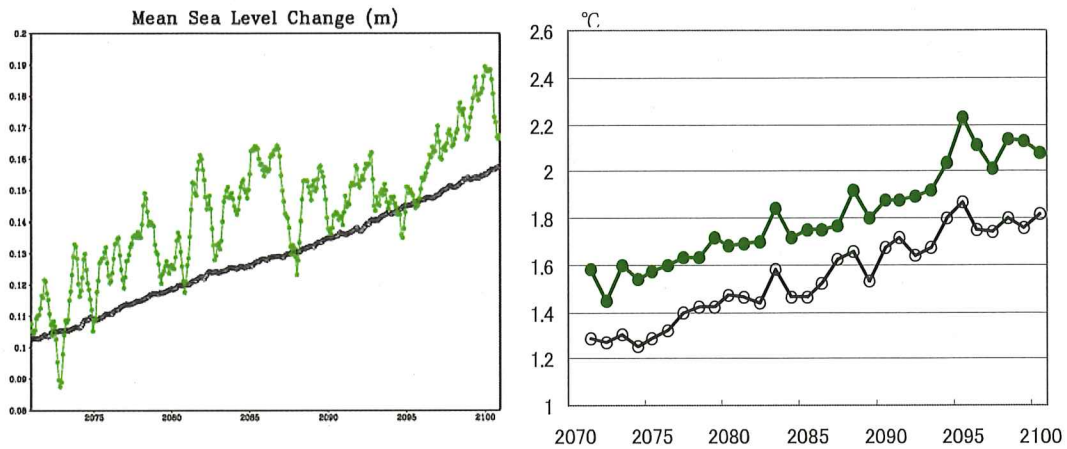


図 4-2-2 気象庁の予測結果(左図:海面上昇量、右図:水温変動)

※ 図中、緑は日本周辺を含む 1/8 球の平均、黒は全球平均を示す。

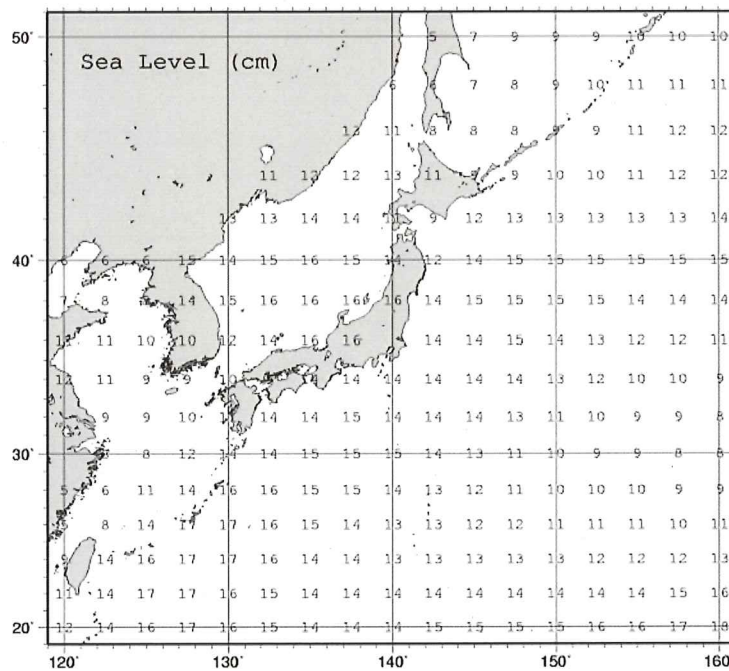


図 4-2-3 将来の海面水位上昇の予測結果(図中の数値:cm)

※ : 出典は地球温暖化予測情報第 5 巻、気象庁、平成 15 年 3 月

※ : 地球温暖化予測海面上昇量(2,071 年から 2,100 年の 30 年平均値)

日本周辺を含む 1/8 球の平均上昇量(図 4-2-2 の緑線)は、全球平均(図 4-2-2 の黒線)よりやや大きいものの、その予測結果は、海面水位上昇・水温上昇とも IPCC の予測結果と比較すると A2 シナリオ群の最小値と同等程度である。また、21 世紀末(厳密には 2,071 年から 2,100 年までの 30 年平均)の日本周辺海域の海面上昇量予測結果は図 4-2-3 に示すとおりであり、沿岸域の海面上昇量はほぼ 14~16cm 程度と、IPCC の予測結果による A2 シナリオ群の最小値と同等程度であるとともに、地域別の差は数 cm 程度と大きな差は見られない。

### 4.3 水温鉛直分布の検討

気象庁の予測結果のうち、20km 格子の水温分布がデータセットとして用意されているのは海表面水温のみである。本調査では海洋の中層や底層に生息するスケトウダラやズワイガニへの地球温暖化の影響について、海表面付近の浮魚と同様に検討するために、所定の水深帯の水温分布を概算する必要がある。スケトウダラやズワイガニへの水温影響を推定する際の水深帯は、主な漁場が北緯 36 度以北の大陸棚周辺に集中していることから水深 200m を指標とした。

#### 4.3.1 既往の水温実測データによる水温鉛直分布

既往の水温実測データによれば水温鉛直分布は、月別・海区別にかかなりの変動があることから、予測された海表面水温から想定水深の水温分布を推定するにあたり、海流の影響、水塊構造を考慮して、図 4-3-1 に示すように、オホーツク海 (I)、太平洋 (II)、日本海 (III) の 3 つの領域に区分した。また、各領域の四季の水温鉛直分布の一例を図 4-3-3 に示す。

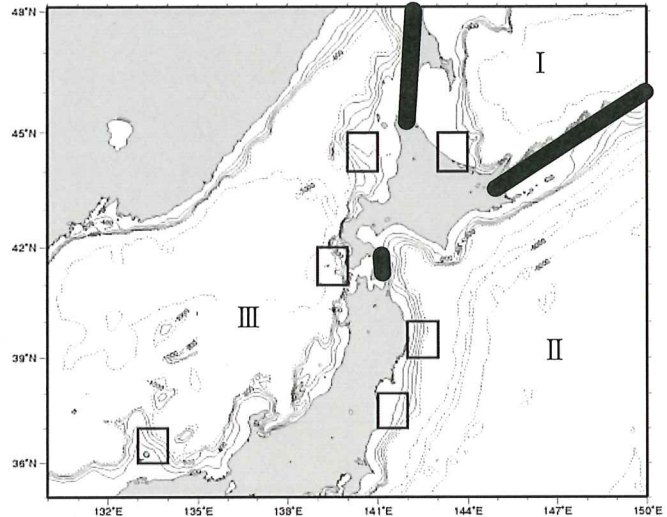


図 4-3-1 海域の領域区分

#### 4.3.2 水温鉛直分布の仮定

過去の観測された水温鉛直分布によれば、一般に水温躍層は比較的浅く表層～海面下 300m 程度で 500m 以深では余り変化は見られない。したがって、本調査では、既往実測値 (表層、水深 200m) と気象庁予測結果 (表層) を用いて、温暖化後の所定水深の水温を推定した。例えば、スケトウダラおよびズワイガニの場合、生息水深を 200m とすると、水深 200m の水温は海表面との水温比を各海域について求めておき、表層水温予測値 (20km 格子) を用いて算出した。

$$T_{IJ200} = T_0 + \frac{(T_{k200} - T_0) \times (T_{IJS} - T_0)}{(T_{ks} - T_0)}$$

ここに、

$T_{IJ200}$  : 20km 格子データの格子番号 (I, J) の 200m 水深の水温

$T_{IJS}$  : 20km 格子データの海表面水温

$T_{k200}$  : 領域 k の実測データの 200m 水深の水温

$T_{ks}$  : 領域 k の実測データの表層の水温

$T_0$  : 水温が鉛直方向にほぼ一定となる水深 (500m) の水温

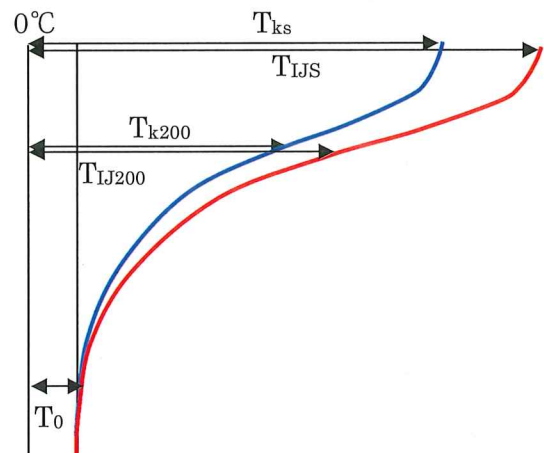


図 4-3-2 水温鉛直方向の推定のイメージ

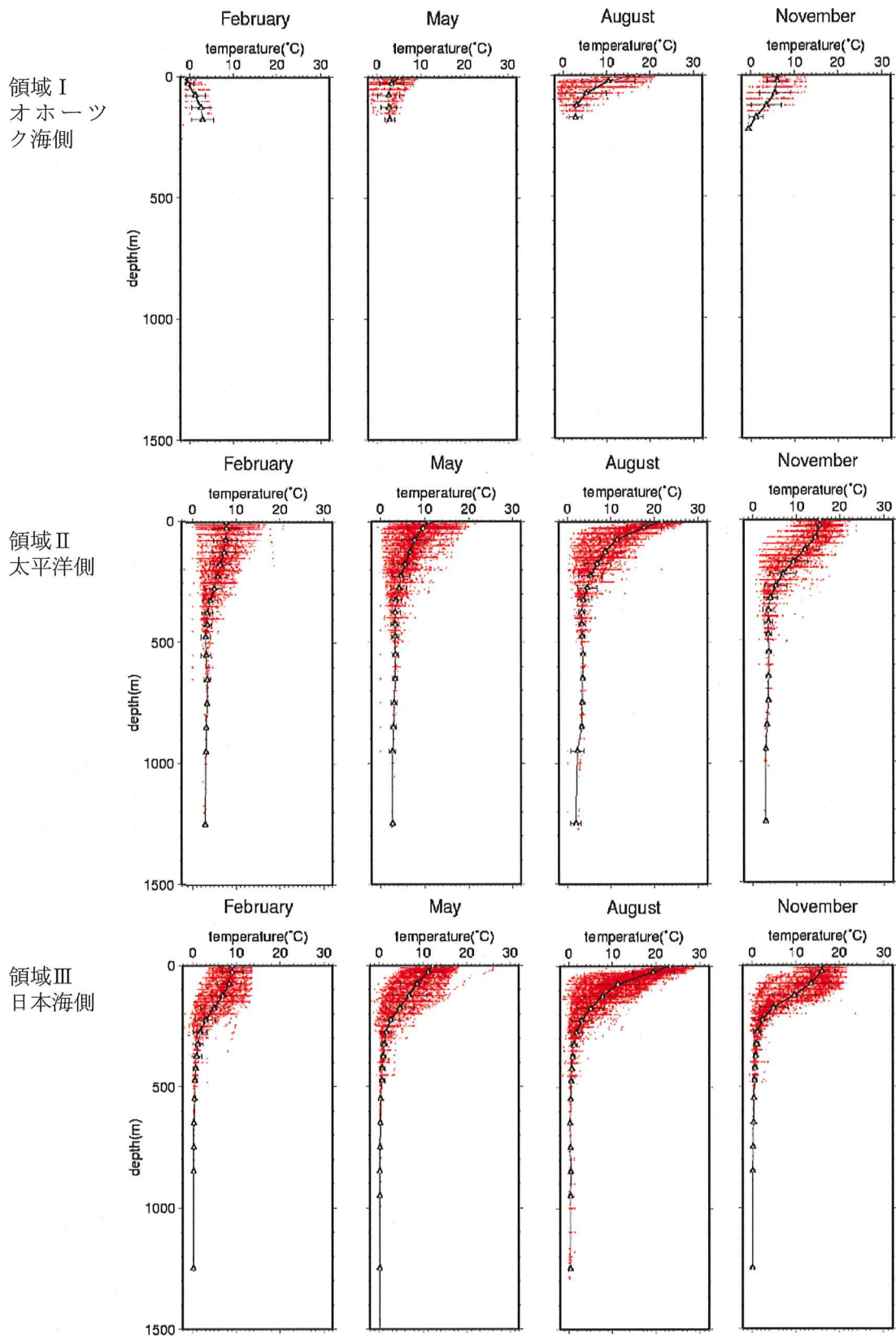


図4-3-3 四季別水温鉛直分布  
 ※赤は実測値、黒は実測値の平均値を示す。

#### 4.4 海水温予測値と海面上昇シナリオの設定

##### 4.4.1 基本的な考え方

本調査で検討を行う海水温の予測値は、地球温暖化が我が国周辺水域内の生態系や漁場に及ぼす影響を評価可能な時空間分解能を有する定量的予測結果として、気象庁が実施した最新の温暖化予測結果（地球温暖化予測情報第5巻，気象庁，平成15年3月発行）に基づき検討を行う。しかしながら、気象庁の予測結果では長期予測（2,071年～2,100年までの30年平均）は示されているものの中期及び短期の予測結果は示されていない。

地球温暖化が我が国周辺水域内の生態系や漁場に及ぼす影響を評価するに当たっては、地球温暖化の進行に応じて長期的（概ね100年後）、中期的（概ね40年～60年後）そして短期的（10年～30年後）な評価時期を設定し、水産物安定供給上の影響、地域経済等への影響、対策に要する時間と経費等を検討することが重要となる。本調査においては、IPCC第3次報告書における2100年までの水温上昇・海面水位の時間変化が概ね線形に変化していることを参考にして現実的な範囲内で短期と中期の設定を行うこととした。

一方、海水面の上昇については、気象庁の予測結果がIPCCでのA2シナリオ群の最小値と同等であることから、気象庁での予測結果のみを用いることは、今後の予測値の見直しに対応できない。このため、本調査の検討結果が予測値の見直しにも対応できるように、IPCC予測の海面上昇最大値（約90cm）まで検討を行うものとした。

なお、地球温暖化による気候変化（気温上昇、水温上昇）は、同時に沿岸域における来襲波浪、潮汐、流れの変化や、来襲台風の強大化による高波浪や高潮頻度の増大の可能性が指摘されている。このことから、長期的な漁港や漁場施設への影響を検討しようとする場合、危険側で考えてそれら全てを重ね合わせて検討することが必要である。従って、それぞれがある仮定をおいた上での長期間の不確実な予測で、かつ、その予測値も大きな幅を持つと考えられることから、来襲波浪などの増大を考慮した予測を行うことは困難である。このため、本調査においては、予測値の幅は大きい上昇量が定量的に予測されている海水面の上昇のみを主要な指標とした。

##### 4.4.2 水温予測値の設定

本調査では、水温予測値を次のように設定した。

- (1) 現状予測値としては、気象庁の現状予測値（図4-4-2、現状予測）とする。
- (2) 将来予測値（中期）としては、気象庁の将来予測値（図4-4-2、将来予測（中期）、気象庁100年後予測値）とする。なお、気象庁の将来予測値はIPCCにおける最も温暖化影響が大きいA2シナリオ群の最小値に概ね相当する。
- (3) 将来予測値（長期）としては、地球温暖化影響が最大となるIPCCシナリオを想定する。水温上昇値に関して、IPCC全シナリオ最大値と、A2シナリオ最小値の差は1.5℃であることから（図4-2-1参照）、想定シナリオにおける21世紀末に相当する水温分布として、将来予測（中期）に1.5℃を一律に加算したものとする（図4-4-2、将来予測（長期）、中期+1.5℃）。
- (4) 将来予測値（短期）としては、現状予測値から水温が一律1℃上昇した場合を想定する（図4-4-2、将来予測（短期）、現状+1℃）。なお、この水温設定は図4-4-1に示すように、IPCC最大シナリオで想定した場合は約34.5年後（短期～中期）、気象庁シナリオで想定した場合は約71.4年後（中期～長期）の水温上昇値に相当する。現状より1.4℃上昇する設定で



は、IPCC 最大シナリオで想定した場合、約 48.3 年後（中期）に相当する。

- (5) 海面下 200m 水深の水温分布は、(1)~(4)で想定した海表面水温を用いて、4. 3. 2 節で示した水温算定式を用いて推定した。

地球温暖化の影響を検討する際に使用した、日本周辺海域の海表面の水温分布(2、8 月)を図 4-4-2、図 4-4-3 に示す。さらに、海面下 200m の水温分布図(2、8 月)を図 4-4-4、図 4-4-5 に示す。なお、海面下 200m の水温分布は漁場の形成位置から概ね北緯 36 度以北の海域について推定した。

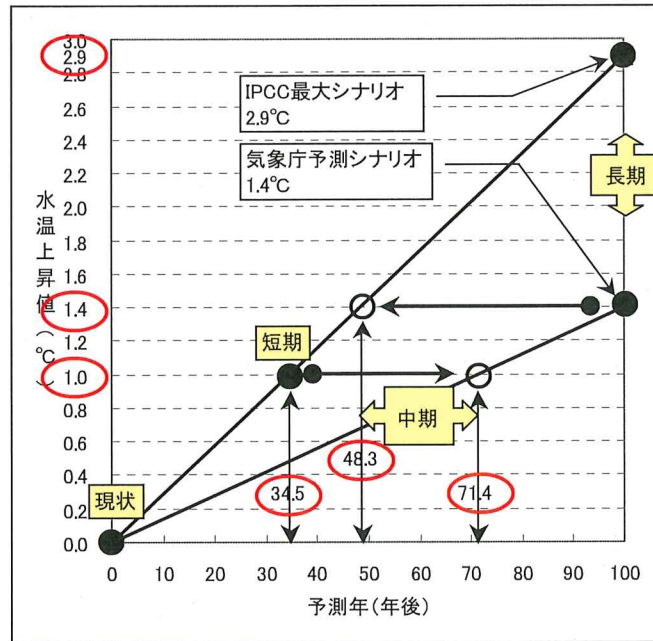


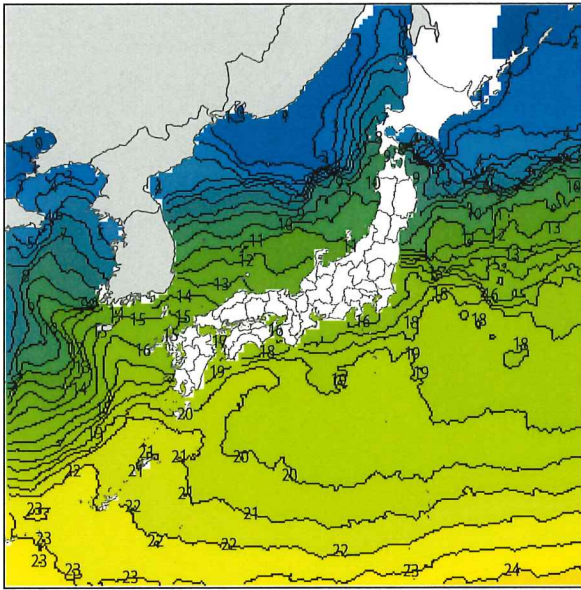
図4-4-1 水温上昇のシナリオ

- ※ ●は実際に水温水平分布図を作成する。
- ※ ○はシナリオの違いによる予測年の読み替えとする。

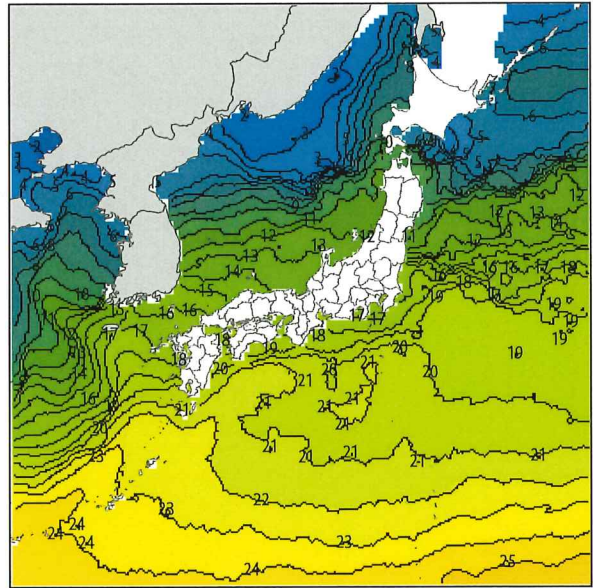
従って、影響評価に用いる海表面水温の水平分布として、以下に示す①~④の4種類を設定した。

- |                         |      |
|-------------------------|------|
| ① 気象庁の現状予測結果            | (現状) |
| ② ①の水温分布に一律 1.0°C加算したもの | (短期) |
| ③ 気象庁の将来予測結果            | (中期) |
| ④ ③の水温分布に一律 1.5°C加算したもの | (長期) |

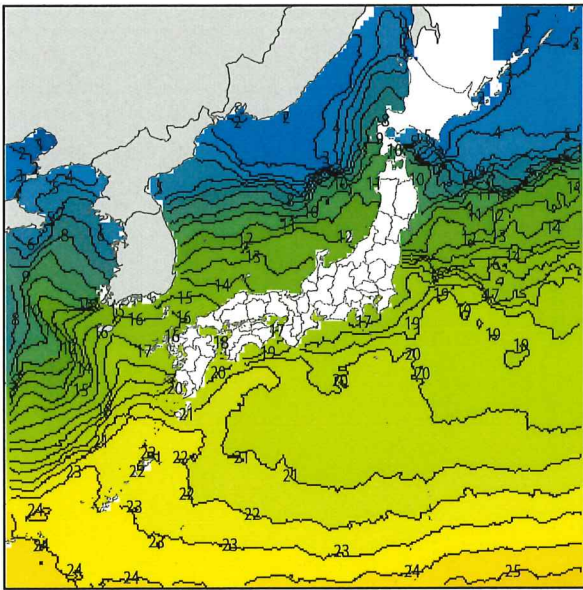
水温 単位：℃



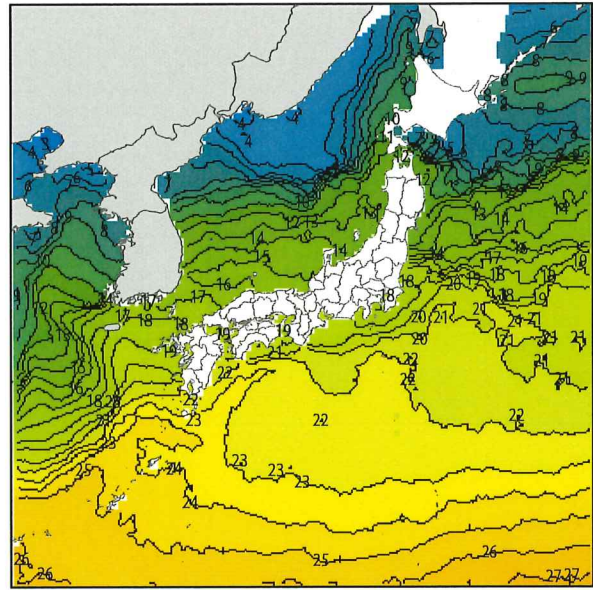
現状予測



将来予測(中期) ※気象庁



将来予測(短期) ※現状+1℃



将来予測(長期) ※中期+1.5℃

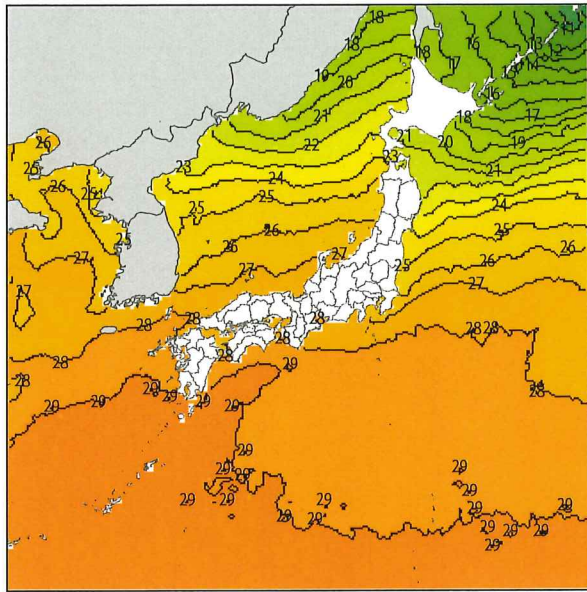
0 250 500 1,000 km  
|-----|-----|-----|-----|

水温分布 2月

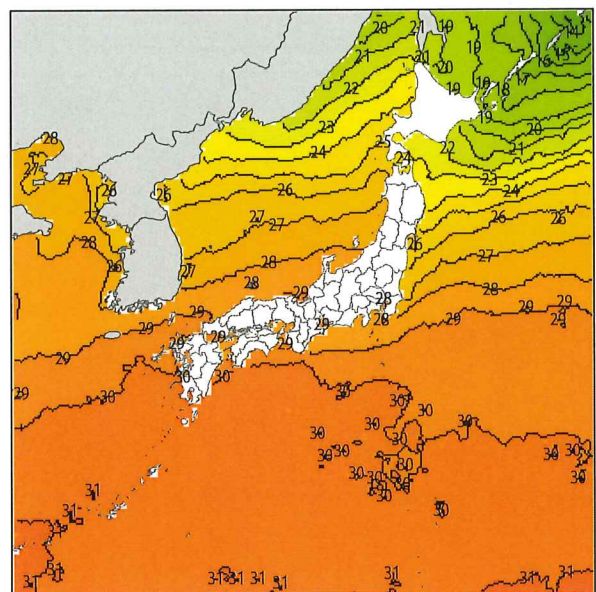
図4-4-2 日本周辺海域の海表面水温水平分布(2月)



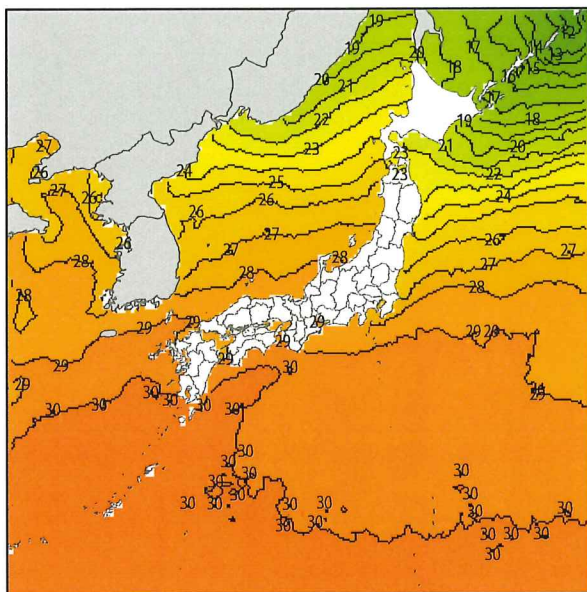
水温 単位：℃



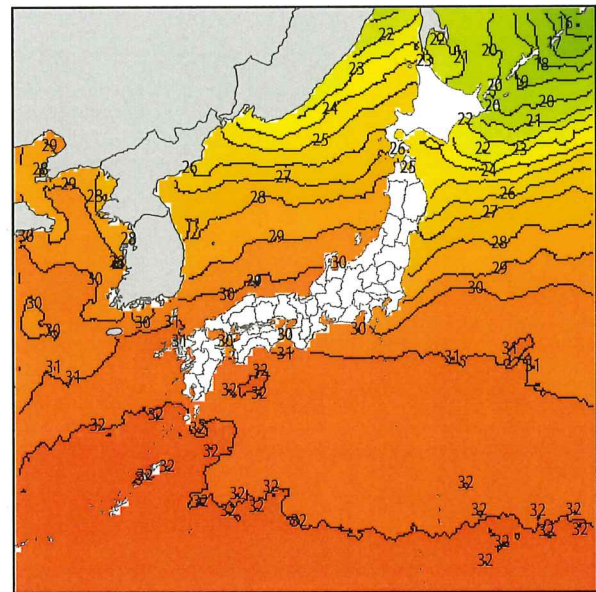
現状予測



将来予測(中期)※気象庁



将来予測(短期)※現状+1℃



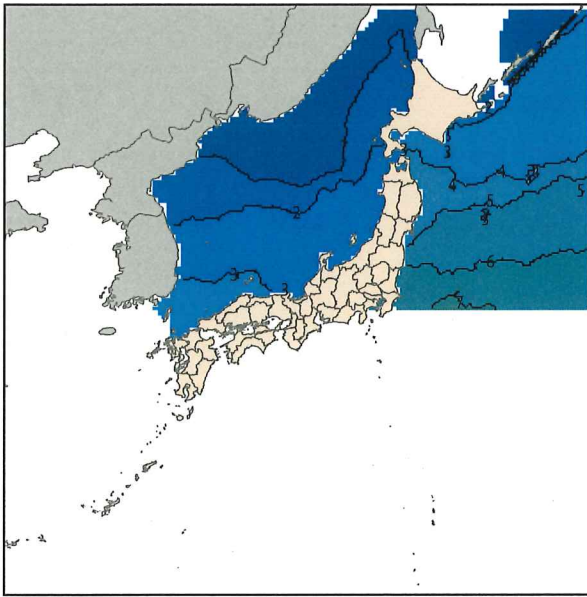
将来予測(長期)※中期+1.5℃



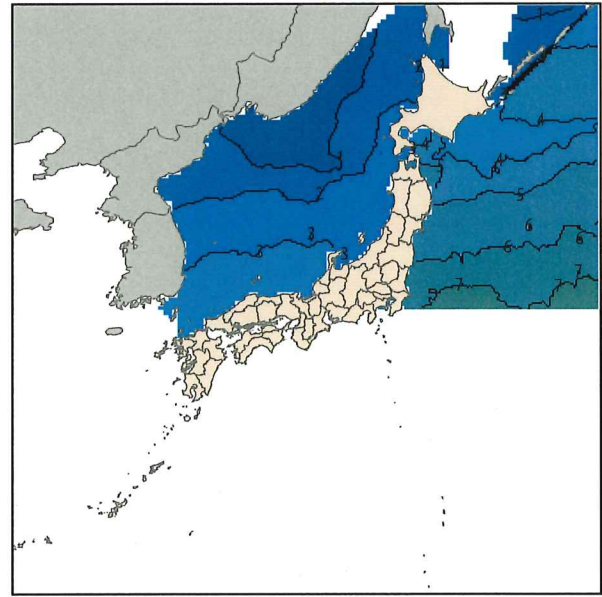
水温分布 8月

図4-4-3 日本周辺海域の海表面水温水平分布(8月)

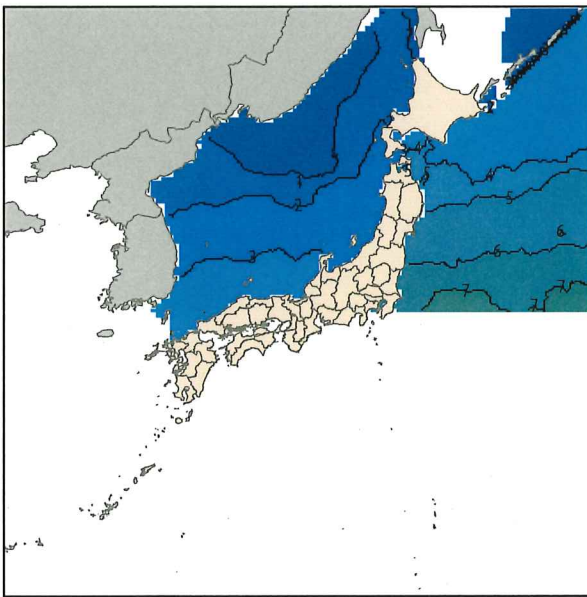
水温 単位：℃



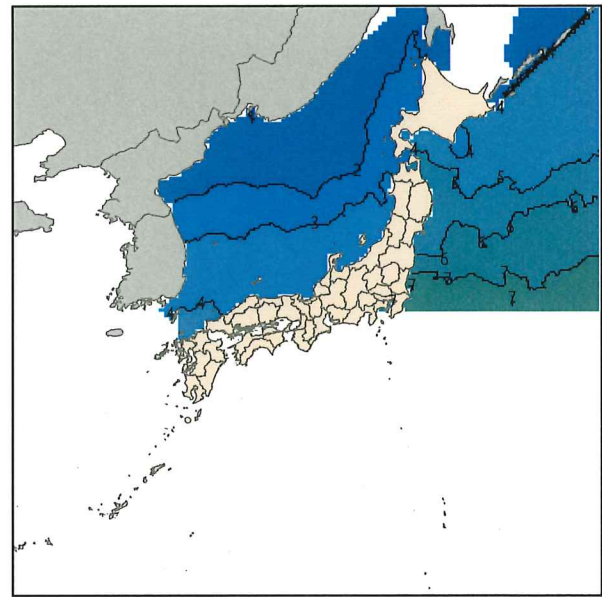
現状予測



将来予測(中期)※気象庁



将来予測(短期)※現状+1℃



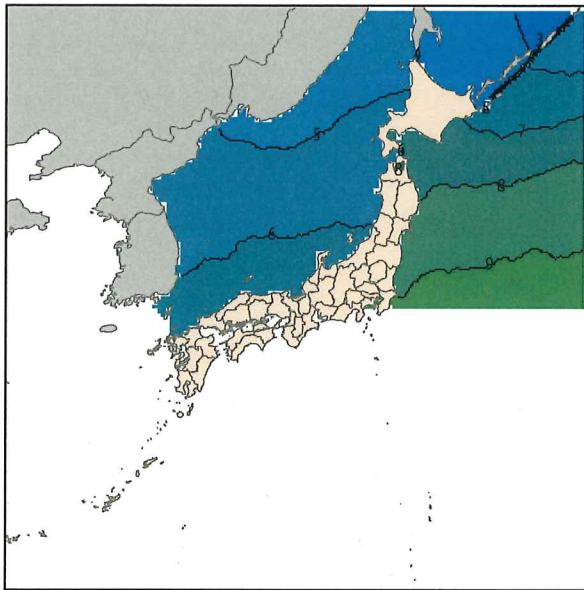
将来予測(長期)※中期+1.5℃

0 250 500 1,000 km

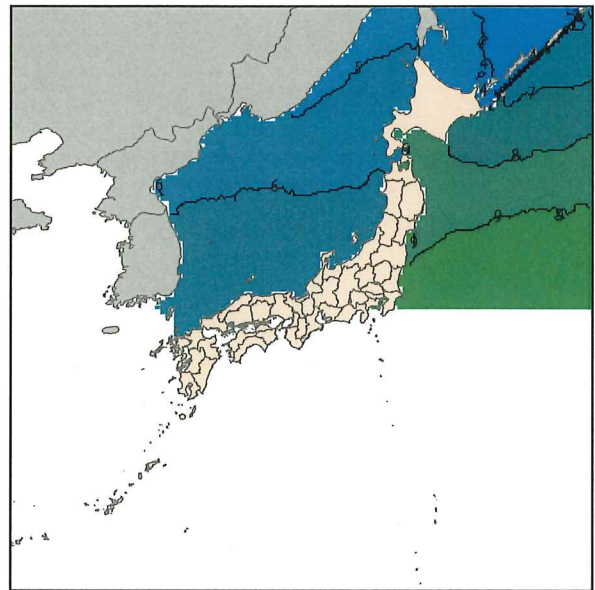
図4-4-4 日本周辺海域の海面下200mの水温水平分布(2月)



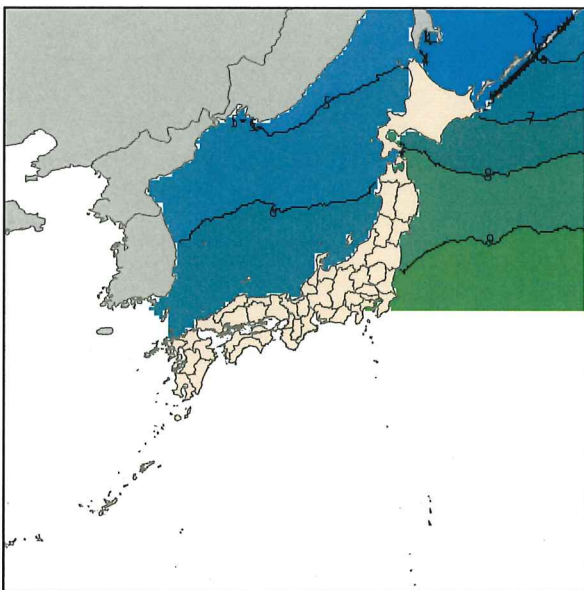
水温 単位：℃



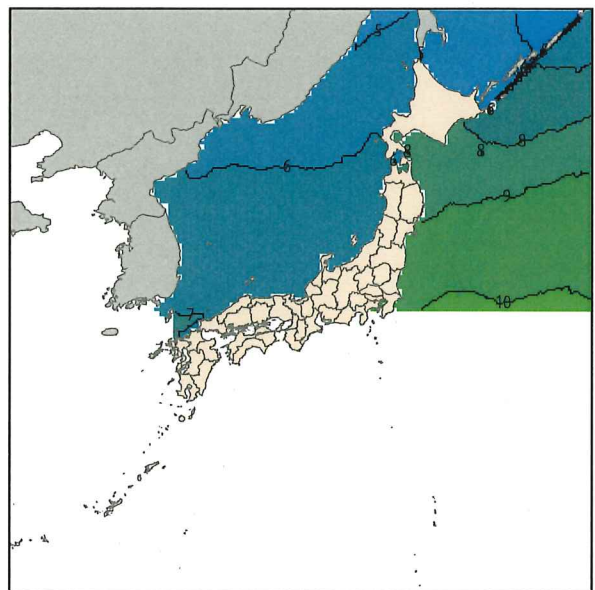
現状予測



将来予測(中期)※気象庁



将来予測(短期)※現状+1℃



将来予測(長期)※中期+1.5℃

0 250 500 1,000 km

図4-4-5 日本周辺海域の海面下200mの水温水平分布(8月)



#### 4. 4. 3 海面上昇シナリオの設定

海面上昇については IPCC や気象庁などにより予測が行われているが、地球温暖化の現象が社会情勢や抑制策の実行レベル等、多くの不確定要素を含んでおり、予測結果に大きなバラツキがある。また、図 4-2-3 に示す気象庁の予測結果から、日本近海における海面上昇の地域的な違いは顕著に認められない。従って、本調査では最小のシナリオから最大のシナリオまで対応できるように、図 4-4-6 に示す 2,100 年までに全国一律に 90cm 海面が上昇する場合を仮定し、併せて、最小値の 15cm、中間値の 50cm について検討を行うものとした。

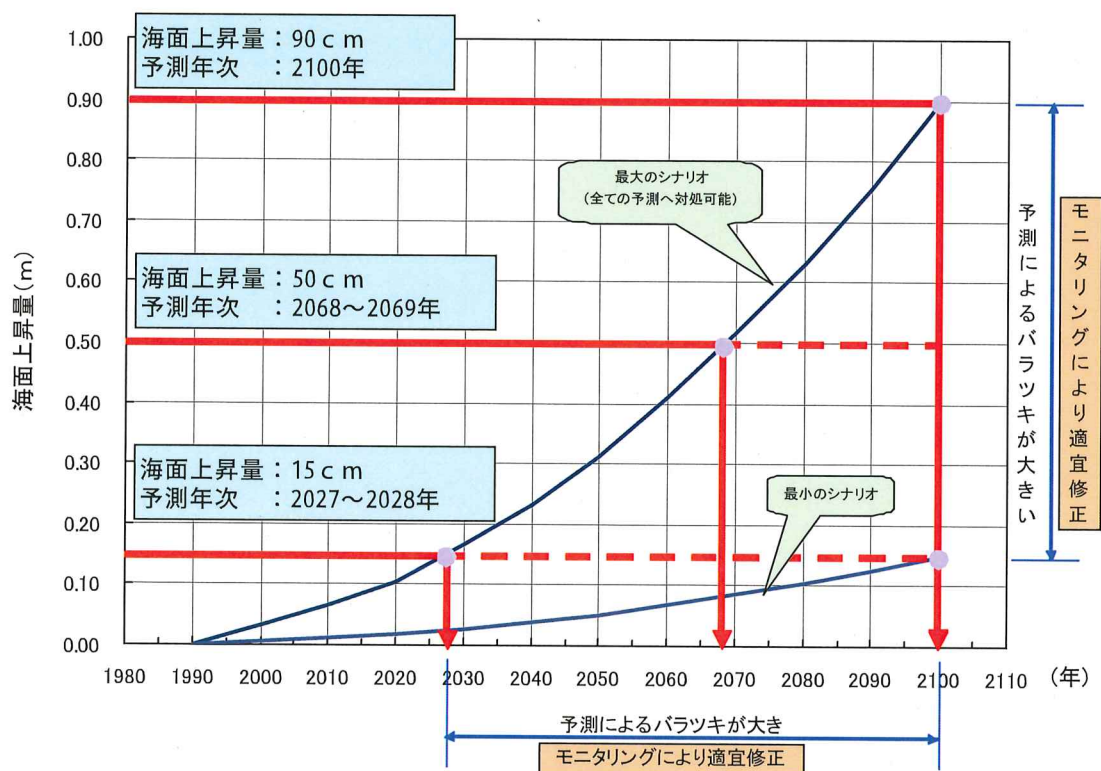


図4-4-6 海面上昇のシナリオ