

## 成果報告書

テーマ 「気候変動が島嶼部の観光に与える影響評価手法の開発」

研究代表者 渡部哲史（東京大学大学院工学系研究科）

### 1 研究背景と目的

太平洋島嶼部の持続可能な開発は国際的に重要な課題である。島嶼地域は多くの場合主要な消費地から離れていること、利用可能な土地が限られていることから産業の振興に限界があり経済的に不利な立場である。一方で、他の地域と海洋により隔離されていることから独自の自然環境を有し、それらに基づく独自の文化が根付いていることが多い。このような背景から島嶼地域においては観光産業が主要な産業の一つとなっている場合が少なくない。島嶼地域の持続可能な開発を考える上では持続可能な観光産業のありかたを検討することが重要といえる。観光産業の持続可能性を考えるためには、観光客、地域社会、環境のそれぞれの観点から評価する満足度、ならびにそれらの相互関係性を明らかにする必要がある。個々の要素に注目した研究は従来から存在するものの、これらの相互関係を考慮した研究は我々の知る限り十分には行われていない。特に気候変動の影響が顕在化しつつある昨今においては、気候変動に代表される自然環境の変化、および人口の増減や各国の経済成長などの社会経済の変化を考慮しながら、観光客、地域社会、環境のそれぞれの面で持続可能な観光を行っていくことが重要である。

申請者はこれらの背景の下、観光を主要な産業とする島嶼地域における、観光客、地域社会、環境の相互関係を明らかにする指標の開発を行ってきた。指標は沖縄県石垣市の観光基本計画に掲載されるなど、一定の成果を上げている。しかしながらこれまで開発してきた指標では将来変化の評価は必ずしも十分ではない。これまでに開発した手法をより有効活用するために将来変化について考慮する手法の開発を行う必要がある。

以上の背景を踏まえ本研究では、気候変動が観光地に与える影響を評価する手法の開発を行う。具体的には、気候変化が観光地の魅力に与える影響および島嶼部における将来の水資源量利用可能性に着目し、これらを対象とした手法開発を行う。

本研究では沖縄県八重山地方を対象に手法開発を行う。本報告では、まずこれらの地域の特徴をまとめ、本研究で扱う気候変動の影響が及ぶと考えられる要素を決定する。次に、気候変化による極端現象や天候の変化が及ぼす影響、水資源利用可能性の変化のそれぞれについて、手法開発およびその推定結果を示す。最後にこれらの変化すべてをまとめた結果を示す。

## 2 八重山地方における観光形態と気候変動の影響に関する考察

### 2.1 八重山地方の特徴

沖縄県八重山地方は石垣島や西表島をはじめとした先島諸島からなり、亜熱帯海洋性気候下の豊かな自然環境と多様な伝統文化が多くの観光客を集めている。2013年に新石垣空港が開港し、東京や関西からの直行便が増えたことも寄与し、観光客は近年増加傾向である。2014年には年間の観光者が100万人に達した。観光客の増加は地元経済に一定の貢献を果たしているものの、その一方で、観光と環境保護のバランスを考慮する必要性など、新たな課題も生じている。

### 2.2 八重山地方の観光に気候変動が及ぼす影響

気候変化が観光に与える影響としては、1)台風等の極端な気象条件により、旅行期間中の観光アクティビティ（例：海水浴やダイビング等）が中止となる、あるいは、旅行そのものが不可能になってしまう頻度が変化すること、2)気候の変化そのものや、気候変化影響と考えられる自然災害により、現地の生態系や自然環境、観光インフラに影響が及び、重要な観光資源が変化、もしくは利用できなくなること、3)気候の変化による日々の気象状況の変化や観光資源の質的变化により、観光者が感じる満足度が変化すること、の3点が考えられる。1)と2)は気候変動の直接的な影響、3)は間接的な影響と言える。以下にそれぞれの影響の詳細およびそれらの評価に関する既往研究について述べる。

これらのうち、観光資源への影響に関しては既に様々な解析が行われている。例えば積雪量の変化によるスキー場の営業に関する影響評価<sup>1)</sup>や渇水による観光への影響<sup>2)</sup>に関する例が存在する。太平洋島嶼地域においては、観光資源という側面だけでなく、生態系保全や漁業への影響からもサンゴに対する注目が高く、様々な研究が行われている。この観光資源への影響に関しては、将来気候を入力として、対象とする観光資源の影響を出力とする影響モデルの開発が必要となるため、個々の対象地域において重要な要因は何であり、その要因に関する詳細な調査及びモデル化が必要となる。

気候の変化による日々の気象状況の変化や観光資源の質的变化による間接的な効果の変化についても考える必要がある。温暖化が観光に与える影響としては上で述べた二点に関する取組が多いが、観光を考える上ではそれらに加えて、観光者の満足感に注目した評価も重要となる。例えば、松田ら<sup>3)</sup>は、人体の生理学的な反応に着目し、気温や湿度などの気象要素から、観光快適性指標を用いた影響を評価した。また、石内ら<sup>4)</sup>は温暖化が観光客に与える影響として、茨城県大子町袋田の滝を事例として調査を行った。

観光の主体は人であることを踏まえると、観光への影響を総合的に考えるためには、自然のみならず人間や社会に注目する視点も重要である。しかしながら、これまでのところこのような取組には課題が少なくない。特に、多くの場合、観光に注目した研究は具体的な事例に焦点を当てることが多いため、広域への適用を想定した手法が開発されていないことが課題と言える。さらに、これらの研究では限られた気候予測情報を基に評価が行

われている場合が少なくない。上述の通り、気候変化の予測には不確実性の評価が重要であり、この点に関する研究は近年急速に進んでいることから、これらの知見を踏まえた評価が求められる。

観光を考える上では観光者の満足度が重要な視点の一つであることから、本研究では、気候変化による気象条件の変化が観光客の満足度に与える影響について調べる。調査に当たり、まず、このような仮定が正しいか、また、正しい場合どの程度の影響を持つのかという点を明らかにする。本研究では沖縄県によって実施されている観光統計実態調査<sup>5)</sup>の結果を解析した。この調査は毎年沖縄県全体を対象として行われているが、それらのうち観光満足度に関する調査項目が多い平成24年度のものを利用し、回答のなかから、「石垣島および周辺離島」のみ旅行したと回答した（つまり、沖縄本島等には旅行していない）352サンプルのみを解析対象とした。アンケートは6月、8月、11月、2月の4回行われており（それぞれの有効回答数はそれぞれ102名、64名、89名、97名）、質問項目には総合的な満足度に加え、各種活動の満足度、性別や年齢などの個人属性、滞在中の天気の影響などが含まれている。本研究ではこの調査結果から、気象条件と満足度の間の関係の強さを他の変数と満足度の間のそれと比較する。

日々の気象が観光の満足度に与える影響を調べるために、観光統計実態調査<sup>5)</sup>の結果を解析する。まず、アンケートの設問「今回の旅行中のお天気はいかがでしたか。1) ずっとよかった、2) おおむねよかった、3) おおむね悪かった、4) ずっと悪かった」の回答と、旅行全体の満足度に関する調査について集計したものを表2に示す。なお、旅行全体の満足度に関しては、回答のほぼすべてが「1) 大変満足」か「2) やや満足」であったため、「1) 大変満足」と「それ以外」として集計した。

結果を表1に示す。天気に対する評価がよいほど、旅行全体の満足度が高いことがわかる。また天気の評価が悪い場合は満足度に関しても「1) 大変満足」の割合が低くなっている。

表1：満足度と滞在中の天気

	大変満足	それ以外	合計(人)
ずっとよかった	74.0%	26.0%	50
おおむねよかった	57.1%	42.9%	105
おおむね悪かった	33.3%	66.7%	51
ずっと悪かった	14.8%	85.2%	27
合計(人)	118	115	233

次に、天気と満足度との関係を、アンケートに含まれている他の満足度に関する項目との関係と比較する。同アンケートでは、総合満足度に加えて、活動満足度、観光地満足度、飲食施設満足度、宿泊満足度、土産満足度に対する設問があった。そこでこれらの質問項目に対してクロス集計を行い、それぞれの質問の関係性を調べるために、クラメールの連

関係数を求めた。クラメールの連関係数は、クロス集計した2つの変数間の関係の強さを0から1の値で表す統計指標であり、1に近いほど両支社の間の関係が強いことを意味する。解析結果を表2に示す。

表2：各満足度の連関係数

	総合満足度	活動満足度	観光地満足度	飲食施設満足度	宿泊満足度	土産満足度	天気
総合満足度	1						
活動満足度	0.415	1					
観光地満足度	0.357	0.559	1				
飲食施設満足度	0.269	0.233	0.378	1			
宿泊満足度	0.205	0.171	0.315	0.256	1		
土産満足度	0.226	0.352	0.361	0.302	0.207	1	
天気	0.374	0.31	0.172	0.082	0.145	0.028	1

結果より、天気と総合満足度の間に他の質問項目と同等、もしくはそれ以上の関係が見られた。今回は各質問間の関係のみ考えたため、複数の要因の総合的な効果は考慮していない。しかしながら、これらの質問項目を考えた際に「天気」に関する満足度が他のいずれかの満足度の結果として高くなるという因果関係を妥当と考えるのは難しい。従って、詳細な因果関係を解明するためには、アンケートの設計自体を含めたさらなる研究が必要となるが、少なくとも今回の調査結果より、「天気」と「総合満足度」との関係はそのほかの満足度の要素と同程度の重要性があると考えられる。

### 3 大規模気候予測データベースを用いた気候変化が島嶼地域の観光に与える影響の推定

#### 3.1 データセット

気候変化による極端事象の変化は、気候変化の影響評価における主要な項目の変化の一つであるため、現在も様々な研究が盛んに行われている。気候変化の予測は地球規模の気候モデルにより行われており、島嶼地域のような詳細なスケールを対象とする場合は地球規模の予測をダウンスケールする必要がある。ダウンスケールに関する研究は多数存在するが、ダウンスケール手法を開発し実行するための人的・計算機的資源の負荷は小さくないため、島嶼部のようにそもそも対象とする陸地が限られている地域が優先されて扱われることは少ない。また、これらの理由から島嶼地域が自ら必要に応じて開発することも現実的ではない。さらに、発生確率が小さい極端事象の予測には、単一のシミュレーション実験では不十分であり多数の実験回数を考慮することが望ましい。このような背景から、近年、多数のアンサンブル実験を含む大規模な気候予測が行われている。この大規模予測情報を活用することが適切な予測に資すると期待されているが、

その方法については島嶼部に限らず重要な課題の一つである。

本研究の目的を達成するためには、詳細かつ、複数の気候予測データの利用が不可欠である。本研究では文部科学省リスク情報創生プログラムのもとで作成された、地球温暖化施策決定に資する気候再現・予測実験データベース(d4PDF)を使用する。このd4PDFは60km解像度の全球実験の結果と日本域周辺を対象とした20km解像度の日本域実験の結果から成る。過去実験として1951年から2010年までの60年間を対象とした合計100個のアンサンブル実験の結果が利用可能である。将来に関しては、6つの全球大気海洋結合モデルの海面水温(SST)将来変化パターンを基に、気温が4度上昇した場合の実験がそれぞれ60年間分、15アンサンブルメンバーで行われており、この結果を利用することが可能である。将来予測を行う際には、特に対象とする事象が稀であればあるほど、多数のアンサンブル実験結果を利用した確率的な評価が重要である。よって、本研究では全球予測値に関して、過去再現3000年分(30年×100)と将来予測5400年分(60年×90)の日降水量を用いて解析を行った。ただし、データ容量の都合から、降雨に比べるとアンサンブル実験による予測の幅が小さいと考えられる雲量に関してはこれらのうちの1800年分のみを用いた。また、全球規模の予測に加えて、予測の解像度による結果の差を考察するために日本域周辺を対象とした領域版の予測情報についても、過去再現150年分(30年×5)と将来予測360年分(60年×6)を利用した。該当地域として全球予測では該当の2グリッド平均ならびにそれらの周辺も加えた12グリッドの2種類の予測情報、領域予測では該当の3グリッドおよびそれらの周辺15グリッドの予測情報を用いた。これは、通常、気候変化の予測は単一のグリッドのみに注目すべきではなく、複数のグリッドの予測情報を併せて考えるべきであることを踏まえている。

将来予測情報は完全に現実の気象の時系列を再現するものではなく、当該期間の気候を再現するものであり、また、計算格子の解像度で平均した地形で、空間平均された気象変数を出力するものであるため、その利用に当たってはモデルバイアスに留意する必要がある。本研究ではモデルバイアスを確認するための比較用データとして気象庁のアメダス(石垣島)を利用する。

### 3.2 多閾値アンサンブル評価法(MTEA法)

大規模気候予測データを利用し、気候変化が島嶼部の観光に与える影響を評価する際には、予測情報の解像度のミスマッチとモデルバイアスが問題となる。本研究では、多数のアンサンブル実験結果を持つd4PDFデータを利用するにあたり、上記の問題を克服する手法として多閾値アンサンブル評価法(Multi Threshold Ensemble Assessment; MTEA)を提案する。このMTEA法では、影響を考慮する変数に対して複数の閾値を設定し、その設定した複数の閾値に対して、将来予測情報が持つアンサンブル実験による予測の幅も考慮した上で発生頻度の変化を推定する(図1)。

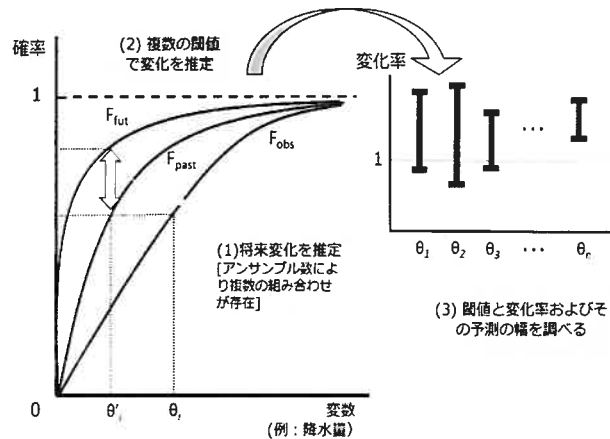


図1：MTEA法の概要

具体的には、設定された閾値  $\theta_i$  ( $i = 1 \dots n$ ) に対して次の式で表される比を考える。

$$F_{fut}(\theta'_i) / F_{obs}(\theta_i) \quad (1)$$

ただし、

$$\theta'_i = F_{past}^{-1}(F_{obs}(\theta_i)) \quad (2)$$

ここで、 $F$ は累積分布関数であり、 $F^{-1}$ は累積分布関数の逆関数である。累積分布関数の添え字obsは観測値、pastは予測情報における過去期間、futは将来期間のものであることを示している。予測情報として過去、将来共にアンサンブル実験による幅を考慮しない場合は(1)の比は唯一の値となる。一方、それを考慮する場合はどのアンサンブルメンバーを用いるかにより関数 $F$ ならびに $F^{-1}$ が異なる。これらの組み合わせを考慮することで、設定した閾値  $\theta_i$  ( $i = 1 \dots n$ )が将来発生する確率とその予測の幅を推定する。

このMTEA法が従来の主要な影響評価手法と異なる点は、MTEA法では具体的な値を予測するのではなく、特定の値の確率的な将来変化を見るところである。類似のアプローチが全球規模での洪水頻度変化の解析<sup>6)</sup>に用いられており、モデルバイアスの問題を回避するための一つの有効な方法であることが示されている。

多くの気候変化の影響評価研究では、将来予測値を観測値により補正した値を基に将来変化が議論されるが、それらの方法ではどのように将来予測値が補正されるかという点が大きな問題となる。いくつかの手法では補正の際に、将来予測情報が過度に修正されてしまうことが報告されている<sup>7)</sup>。適切な補正を行うことは、特に島嶼部のような対象スケールが詳細な場合は容易ではない。この点に関して、MTEA法は、将来予測値そのものは求めないため、将来予測値そのものをさらに利用して解析を進めるような用途には用いることが出来ないが、発生確率の変化の情報が理解できれば十分な場合には、補正の問題を避けることのできる有効な方法である。

### 3.3 結果

#### a) 過去再現実験の比較

大規模予測情報を利用して極端事象が観光に与える影響を評価するために、まず、この予測情報に関して、対象地域における過去の再現実験の結果を該当するAMeDAS観測値と比較する。本研究では観光に影響を与える極端現象として大雨に着目する。将来予測情報の利用可能性や扱うデータ量を考慮し、日単位雨量を解析の対象とする。気候予測実験はある特定の日時の気象条件を再現するものではないため、実験結果を実際の観測値と比較する際には個々の予測結果を比較するのではなく、長期間(30年以上を考慮することが望ましい)の統計的特徴を両者の間で比較する必要がある。本研究では過去再現実験のうち1981年から2010年までの30年間を対象として両者の比較を行う。また、2節にて述べたとおり、予測情報のうちいくつのグリッドを対象とするか、および、日本域を対象とした詳細な予測と全球を対象とした予測の違いについても比較を行う。

図1に再現実験とAMeDAS観測値を比較した結果を示す。本研究では極端現象を対象とするため、ここでは台風の影響による大雨の発生など極端な降水が発生しやすい8月を対象に、上位の20降水イベント(上位2%に相当)に注目した結果のみを示す。ここで比較したものは、全球を対象とした予測結果の該当2グリッドを用いた場合、その周辺も含めた12グリッドを用いた場合、日本域予測における該当3グリッドを用いた場合、その周辺も含めた15グリッドを用いた場合の4つの結果である。全球予測に比べ日本域予測を対象にした予測の方が、中央値がAMeDASの値に近い。これは日本域予測の方が解像度の高いモデルが用いられていることを考えると妥当である。

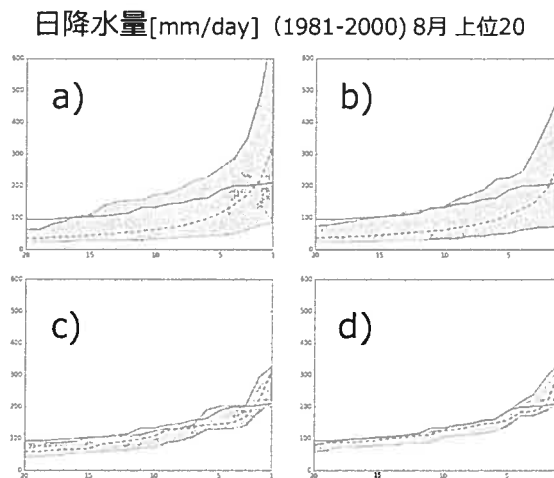


図2 過去再現実験結果の比較

縦軸：日降水量[mm/day]，横軸：上位20降水イベント(昇順)。実線がAMeDAS。点線がアンサンブル予測(全球100メンバ、日本域5メンバ)の中央値を表し、アンサンブルメンバによる予測の幅を影で表す。a)は全球、該当2グリッド、b)は全球、12グリッド、c)日本域、3グリッド、d)日本域15グリッドの結果。

また、日本域予測のうち用いたグリッド数の大小比較すると該当の3グリッドを用いた場合よりも、その周辺も含めた予測の中央値の方がAMeDASに近い。このことは、モデル予測を考慮する際には該当グリッド周辺の情報にも注意すべきだということを示している。ここで用いた該当15グリッドの範囲は、全球予測の該当2グリッドに近い。極端イベントの適切な予測にはダウンスケールが重要という事実が示唆される。

一方、全球の予測に関しては日本域予測に比べると中央値の再現性は高くないものの、ほぼ、アンサンブル予測の幅と同程度であることが示された。本研究の目的の一つは詳細な予測が利用できない場合の手法開発であるため、この誤差を有する全球予測の利用を考える。全球予測の結果は明らかな誤差を含むものの、上位の数個を除くとおおよそ順位に従ってAMeDASと同様に降水量が増加している傾向が見て取れる。予測の絶対値に関しては誤差を含むものの、それを補正することで必要な情報を抜き出せる可能性があると考えられる。なお、ここでは8月のもののみ示したが、他の月に関しても、再現性の良し悪しはあるものの、4つの予測の間の関係は同様であった。

さらに、降水の再現性の確認の一つとして、降水量が0となる割合を比較したところ、8月の予測結果は観測値が57.85%であったのに対して（全球予測2グリッド、12グリッド、日本域予測3グリッド、15グリッド）の順で（6.02%、0.02%、47.42%、15.48%）であった。他の月に関しても傾向は同様であった。対象とするグリッドが増えるほど降水が発生する確率は上がるのは当然と言えるため、妥当な結果と言える。無降水日数を考慮する場合や少雨の傾向を考慮する際には予測情報が高解像度であることが望ましい。本研究の対象とは異なるが、全球予測の未利用可能な場合は何らかの対処が求められることを記しておく。

#### b) 将来変化が与える影響の予測

ここまでの結果を踏まえ、MTEA法を用いて将来の降水事象の発生確率の変化について調べる。MTEA法では興味のある変数に対して複数の閾値を設定し、それらの将来における発生確率を評価する。本研究では、観光への影響も考慮して、30、50、100、150、200 (mm/day) の5段階の閾値を設定した。

図3に結果を示す。ここでは結果が特徴的であった6月と8月の2つのみを示す。いずれの図も現在からの変化を示しており、1を超えた場合は現在よりも発生確率が高くなることを意味する。用いたSSTのパターンにより結果が異なるものの、8月の結果からは全体的に発生確率が減少していることがわかる。特に150[mm/day]と200[mm/day]に関してはいくつかの結果では大きく減少している。一方、6月の結果は、特に30[mm/day]や50[mm/day]の比較的小規模の事象に関して、一部の結果で発生確率が大きく上昇している。150[mm/day]と200[mm/day]に関しては顕著な傾向は確認できない。これらの結果を踏まえると、観光のピークシーズンである8月に関しては、交通機関等にも影響が出ることができる稀な降水に関しては、将来において減少することが予測される。また、



6月においては、大規模な影響はないものの、各種のアクティビティや観光には影響がでると考えられる程度の降水イベントの発生回数が増加することが示された。

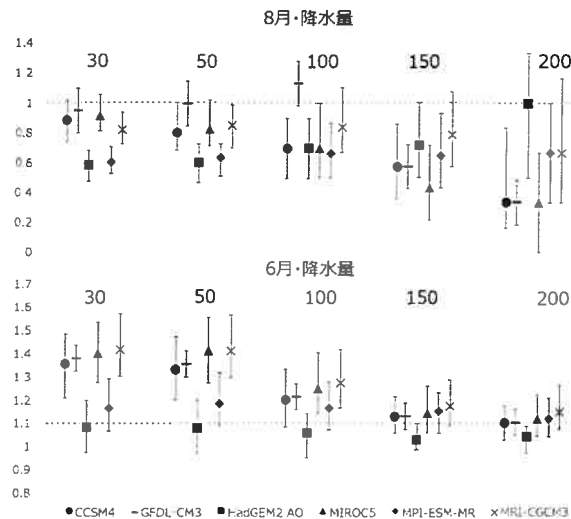


図3 MTEA法による将来の降水量に関する推定結果

各閾値（図中の数字）の日降水量に関する現在の発生確率と将来の発生確率の比。各印は中央値を表し、エラーバーはすべてのアンサンブルメンバを考慮した際の25%タイル値と75%タイル値を示す。

### c) 気象条件の変化とその影響

観光に影響をあたえる気象条件が気候変化によってどの程度変化するかを調べる。MTEA法では閾値を設定しその値に関する生起確率の変化を調べるため、このような用途への使用に適している。

観光満足度に影響を及ぼす気象条件を表す変数として、日単位の雲量と日単位降水量に注目した。雲量に関しては気象庁により、10段階のうち9段階以上が曇りと定義されていることから、この9段階目を閾値として検討した。また降水量に関しては降雨の有無に主に注目するために、閾値を0.5[mm/day]と設定した。

結果を図4に示す。雲量に関しては2月で全てのSSTに対して現象の傾向があることがわかる。一方、6月に関しては一部のSSTによる実験を除いて、求めた比が大きな値となっている。8月と11月に関しては用いるSSTにより結果が大きく異なる。次に、降水量についてであるが、降水量も雲量と同様に、2月で減少し、8月で増加する傾向が確認できる。

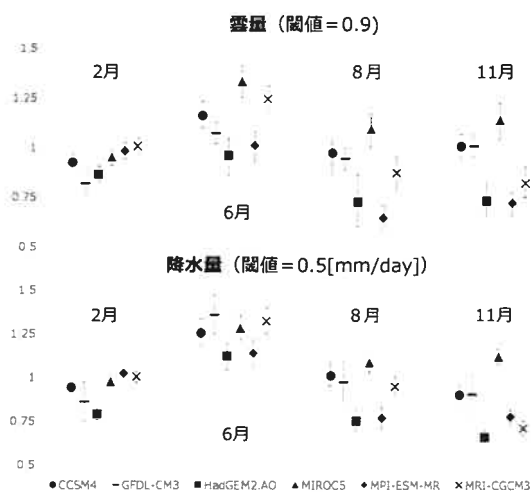


図4 MTEA法による将来の雲量と降水量に関する推定結果

各月（図中に記載）の日平均雲量，日合計降水量に関する現在の発生確率と将来の発生確率の比。各印は中央値を表し，エラーバーはすべてのアンサンブルメンバを考慮した際の75%タイル値と25%タイル値。

これらの結果を踏まえると，6月には曇りでさらに雨の日数が増えることが考えられる。また逆に，2月に関しては，雲量が少なくなる日が増え，降水日数も減少する傾向が示された。各SSTによる差は2月を除いて大きく，8月と12月においては雲量と降水量の間で似たような挙動を示している。

以上の結果を踏まえると，2月に関しては，天気が悪いという印象が少なくなる可能性があるため，満足度が高まる可能性が示唆された。逆に6月に関しては満足度が低下する恐れがあると考えられる。前節における降水量の予測の結果も踏まえると，滞在期間中に悪天候に合う可能性は現在よりも高くなることが示された。

#### 4 水資源利用可能性に関する解析

水資源利用可能性については，上記のMTEA法による評価が難しい。水資源利用可能性については，降水量と蒸発散量という2つの変数を考慮しなければならない。また，蒸発散量は降水量や風速のようにそれ自体を直接得られる変数ではなく，蒸発散量気温や，湿度，放射などの複数の変数から求める変数である。これらの条件のため，極端現象の評価に対して用いた，ある一つの変数の閾値を超えるかどうかを確認するMTEA法を用いることができない。

ここでは，湧水研究でよく用いられる降水量と蒸発散量の差がどのように変化するかという点に注目し，それが現在から将来にわたりどのように変化するかを調べる。蒸発散量の推定に関してはKarnauskas et al.<sup>8)</sup>と同様の方法で行う。洪水が短期間の降水量により決定されるのに対して，湧水は長期間の降水量により決定されるため，長期間の降水量を考慮す

る必要がある。どれくらいの期間を考慮するかは地点により異なる。様々な期間長を検討した結果、6か月移動平均を用いた場合に過去の降水イベントに近い結果が得られることが分かったため、本研究では6か月移動平均を用いることとする。図5に観測データに基づく指標の推定結果と実際の渇水イベントの有無を比較した結果を示す。渇水イベントが生じている際には指標が小さい場合となっていることがわかる。一方で、指標が低い場合にも渇水イベントが生じていない場合も存在している。これは実際に渇水イベントが生じるかどうかは、移動平均期間の取り方や需要の動向もあるためそれらが影響していることが考えられる。なお、実際の渇水イベントの有無に関しては地元新聞への記載の有無を基に判断した。課題は残るものの、この課題は現在および詳細のどちらにも影響することから、現在から将来の変化を考える際には問題とはならないと考え、この指標を用いて水資源利用可能性の変化について推定を行う。

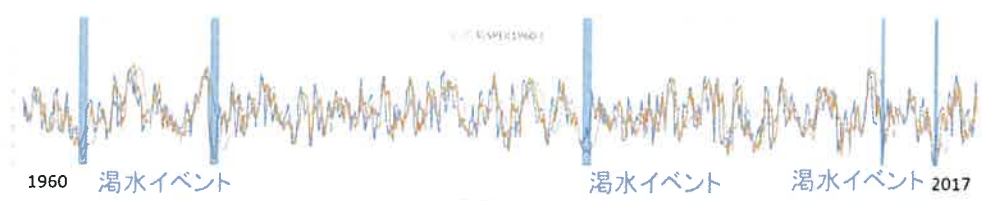


図5：過去の指標算出結果と渇水イベント

観測データを用いた場合の正規化した指標の変化と実際の渇水イベント（青色の帯）を比較。

将来の水資源利用可能性の変化を推定する際には気候モデルによる実験結果を用いる。ここでは上で用いたd4PDFではなく、CMIP5で用いられた6つの気候モデルを用いた。図6にこれらの実験の概略を示す。気候モデルによる過去再現実験の結果に対して、実際に生じた渇水イベント回数を基に閾値を設定し、将来気候下でこの閾値を超過する頻度を求め、現在と将来での頻度の変化を求める。

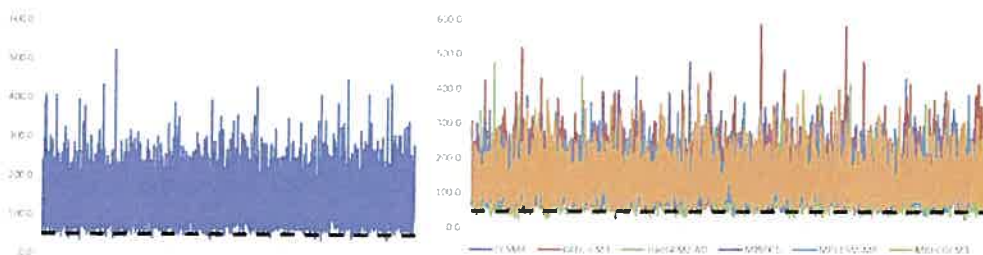


図6：水資源利用可能性に関する推定

[左図]気候モデルによる現在気候下での指標の変化と過去の渇水イベント数に対応する閾値（点線）[右図]将来気候下での指標の推定結果と過去再現実験により決定した閾値（点線）

水資源利用可能性の将来変化を求めた結果を表3に示す。6つの気候モデルのうち1つではリスクが減少し、それ以外のものでは増加した。また、その幅も0.2から20と大きく異なり、気候モデルの予測により結果が大きく異なることが示された。

表3：水資源利用可能性の将来変化

モデル名	変化率
CCSM4	3.5
GFDL-CM3	2.8
HadGEM2.AO	20.0
MIROC5	0.2
MPI-ESM-MR	2.7
MRI-CGCM3	4.4

## 5 まとめ

本研究では島嶼地域に広く一般的に適用可能な気候変化の影響評価手法として多閾値アンサンブル評価法を開発した。この手法では、単一の変数の変化を推定することが可能であることから、極端現象によるイベントの中止や晴天日の変化による観光満足度の変化など一変数を対象とする影響の評価が可能である。一方で、水資源利用可能性の変化のように複数の変数の変化に注目する際にはこのアプローチは適切ではない。故に、降水量と蒸発散量の差で表した渇水指標の将来変化を推計した。

表2に本研究で求めた変化をまとめる。3つの評価対象に対して、具体的に何の変数に注目したか、推定結果はどのような変化傾向があり、その変化傾向の予測結果はどの程度の不確実性（予測の幅）を持つかをまとめた。豪雨や強風に関する変化に関しては不確実性が小さいのに対して、水資源利用可能性については不確実性が大きい。水資源利用可能性の推定には複数の変数を確認しなければならないことが関係していると考えられる。

表2：八重山地方における気候変化が観光に及ぼす影響

評価対象	対象変数	変化傾向	不確実性
イベントの中止	豪雨・強風	夏季は減少 梅雨の時期が変化	小さい
水資源 利用可能性	降水量 (少雨)	両極端な予測	大きい
満足度	雲量・降水有無	冬～春に上昇	やや大きい

本研究では、MTEA法を用いて沖縄県八重山地方を対象に、気候変動が観光に与える影響について評価を行った。従来の観光分野の気候変動に関する研究では限られた予測情報を基に評価が行われていたが、本研究ではMTEA法により大規模予測データベースを活用することで、アンサンブルメンバによって生じる予測の幅などを加味したうえで、影響評価を行うことができた。また、これまで比較的小規模での予測しか行われてこなかった気候変動の間接的な効果についても、雲量や無降水日数に着目し、観光実態調査を踏まえた上で、MTEA法によって大規模予測情報を活用した予測を行い、影響を評価したことは、従来にない新規的な取組であると言える。今回の取組みのように、観光客満足度のように、自然環境に直接関係しない変数に関しても、影響を評価することの重要性は増すと考えられる。その際に、注目すべき値を閾値として設定できる本手法が課題解決に資することを期待したい。

#### 参考文献

- 1) 大田原望海, 大西暁生, 佐藤嘉展, 佐尾博志, 森杉雅史: 地球温暖化による積雪量の変化がスキー場の営業に及ぼす影響—富山県を対象として—, Vol.70, No.5, ppI\_21-I\_29, 土木学会論文集 G (環境), 2014
- 2) 神谷大介, 赤松良久, 宮良工: 沖縄県離島地域における湧水問題と観光の影響に関する分析, Vol.69, No.5, I\_13-18, 土木学会論文集 G (環境), 2013
- 3) 松田恵, 井上剛, 文屋信太郎, 木根原良樹, 関根秀真, 久保川陽呂鎮, 佐藤正樹: 地域スケールの気候変動予測と観光快適性指標を用いた影響評価, 三菱総合研究所所報, pp30-45, 2013
- 4) 石内鉄平, 小柳武和, 桑原祐史, 大橋健一: 地球温暖化による自然観光資源と観光客への影響分析—茨城県袋田の滝を事例として—, No.5, ppI\_111-I\_119, 土木学会論文集 G (環境), 2012
- 5) 沖縄県: 観光実態調査.
- 6) Hirabayashi, Y., R. Mahendran, S. Koirala, L. Konoshima, D. Yamazaki, S. Watanabe, H. Kim and S. Kanae, Global flood risk under climate change, *Nature Climate Change*, 3, 816-821, 2013
- 7) Cannon, A.J., Sobie, S.R., Murdock, T.Q., 2015. Bias Correction of GCM Precipitation by Quantile Mapping: How Well Do Methods Preserve Changes in Quantiles and Extremes? *J. Climate* 28, 6938–6959. doi:10.1175/JCLI-D-14-00754.1
- 8) Karnauskas, K.B., Donnelly, J.P., Anchukaitis, K.J., 2016. Future freshwater stress for island populations. *Nature Climate Change*, doi:10.1038/nclimate2987.