

## 2.4 貢献事例 3:【環境】気候変化、異常気象の予測と対応

### 2.4.1 当該貢献事例の全体像

海面水温上昇による水蒸気量の増加・豪雨の発生など、海と大気が互いに影響しあい、気象や気候の変化に影響していること（大気海洋相互作用）が、長年の海の観測と研究によって明らかとなってきた。大気と海洋の相互作用をモデルに取り入れることで、気象や気候の予測精度を向上させることが可能となる。既に、エルニーニョ/ラニーニャ現象による猛暑・冷夏の季節予報では大気海洋結合モデルが利用されている。また、台風等の気象現象の解明等でも海洋のデータを統合した研究が進められており、今後台風の変化予測等に活用されることが期待される。

また、今後、二酸化炭素増加など人為的要因による気候変動・温暖化の進行に伴い、こうした気象・気候現象の変化・激化も予想されている。その対策のため、より正確な将来予測を可能とすべく、日本が海のデータを含めた予測手法の研究等で世界をリードしている。



図 2-8 【環境】貢献事例の全体像

#### (1) 大気海洋相互作用の解明

##### 1) 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

大気と海洋は相互作用しながら気候に影響を与えているが、大気モデルと海洋モデルは長年の間別々に開発されてきた。近年、大気・海洋それぞれの観測データの統計的な解析等により、それらの相互作用の解明が進められている。この成果として大気海洋結合モデルが構築されることで、より高精度の気候予測を行うことができるようになった。具体的には、大気モデルは海洋モデルから得た境界条件の下で太陽放射、雲、風の影響などを計算し、海洋モデルに熱量、運動量、降水量を渡す。更に海洋モデルでは、これらの各物理量を境界条件

として、海流や海水を含めた相互作用を計算し、海面温度を大気側へフィードバックする。同モデルを用いれば、例えば数年から数千年スケールの気候変動について予測できる可能性があり、各国の気象機関や研究機関等において、季節予報や気候変動予測の研究や実用化が進んでいる。

## 2) 具体的な成果・貢献

大気海洋結合モデルは既に日本の気象庁によって、1 か月を超える季節予報などで利用されている（図 2-9 参照）。また、JAMSTEC の地球情報基盤センターでは、大気モデル及び海洋モデルに海氷モデルを加えた大気・海洋・海氷の結合モデル（CFES: Coupled Atmosphere-Ocean-Sea Ice model for the Earth Simulator）を開発しており、数年から数千年先のスケールでの気候変動予測の実現を目指している<sup>25</sup>。

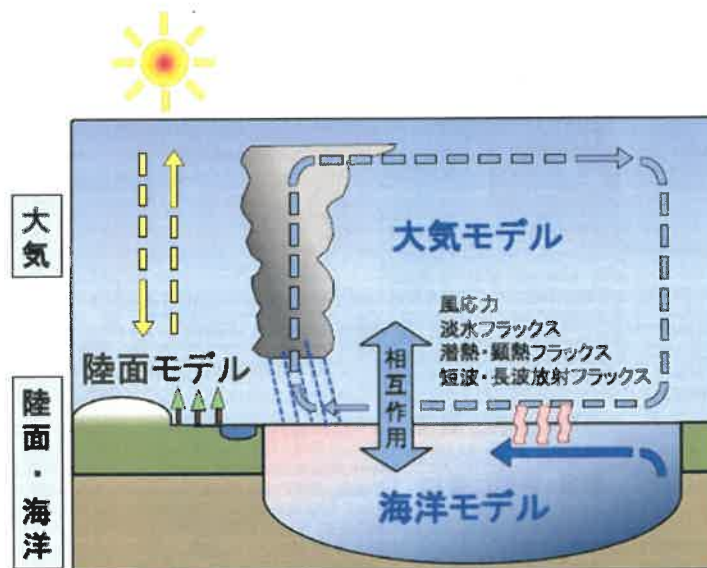


図 2-9 大気海洋結合モデルの概念図

(出所：気象庁 (<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-7.html>))

## (2) 大気海洋波浪結合モデルの構築（台風の強度変化の解明）

### 1) 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

大気海洋波浪結合モデルとは、これまでそれぞれ単体で研究されてきた大気、海洋、さらに波浪モデルを結合させるもので、近年モデルの構築・利用が進められている。このモデルにより、従来の単純なスラブモデルや海洋モデル単体による予測ではなし得なかった、台風や爆弾低気圧のような5日から10日程度の時間スケールを持つ現象のより高精度な予報が可能になりつつある。

<sup>25</sup> JAMSTEC 「大気海洋結合シミュレーション研究の概要」

(<http://www.jamstec.go.jp/esc/research/AtmOcn/cfes/overview.ja.html>)

## 2) 具体的な成果・貢献

気象研究所の台風研究部による「中緯度における台風や大気攪乱の予測可能性と海洋の相互作用に関する研究」では、黒潮続流域集中観測期間および台風の事例について、統計学的な解析手法を用いて非静力学大気波浪海洋結合モデルによる数値シミュレーションを行い、台風や大気攪乱が豪雨、強風をもたらすプロセスを解明した<sup>26</sup>。今後は、本成果の実際の気象業務への活用可能性等について検討を行うことが期待される。

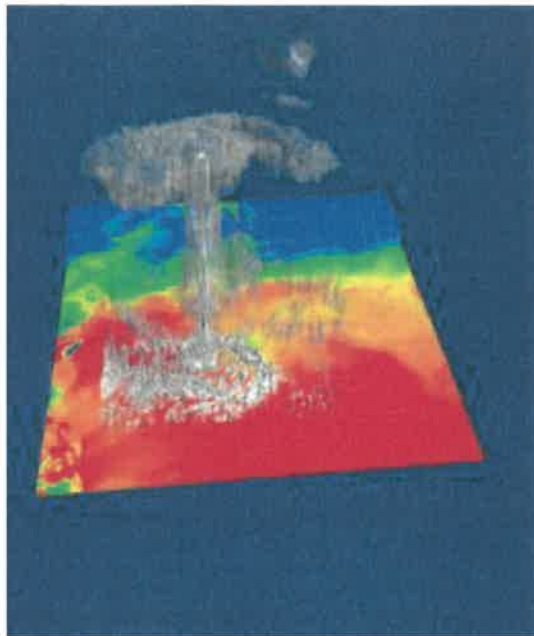


図 2-10 大気波浪海洋結合モデルによる台風の強度変化の解明

(出所：気象研究所 ([http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ty/IND/IND\\_wada/Akiyoshi\\_Wada-sjis.html](http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ty/IND/IND_wada/Akiyoshi_Wada-sjis.html)))

## (3) エルニーニョ・ラニーニャ現象の解明

### 1) 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

エルニーニョ現象とは、太平洋赤道域の日付変更線付近から南米沿岸にかけて海面水温が平年よりも高くなり、その状態が1年程度継続する現象である。逆に、同じ海域で海面水温が平年より低い状態が続く現象がラニーニャ現象であり、それぞれ数年おきに発生している。エルニーニョ現象が発生すると、太平洋西部において、積乱雲が盛んに発生する海域が平常時よりも東に移動し、またラニーニャ現象が発生するとインドネシア近海で積乱雲の発生が盛んになることが分かっている<sup>27</sup>。この現象のメカニズムを解明し予測するため、各国の気象機関等で、数値モデルや海洋、大気観測データを用いて精力的な研究が行われている。

<sup>26</sup> 東京大学先端科学技術研究センター

([http://www.atmos.rcast.u-tokyo.ac.jp/hotspot/jpn/selected2/a01\\_k3.html](http://www.atmos.rcast.u-tokyo.ac.jp/hotspot/jpn/selected2/a01_k3.html))

<sup>27</sup> 気象庁ウェブサイト (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/elnino/learning/faq/whatiselnino.html>)

## 2) 具体的な成果・貢献

日本の気象庁を含むいくつかの公的機関からはエルニーニョ予報が公開されており、実際に、日本の猛暑予測、オーストラリアの干ばつ予測、アフリカ南部の豪雨予測等が的中している実例がある。また、アパレル業界等で服の生産や販売計画等でも活用されている。

### (4) 亜熱帯ダイポールモード現象の解明

#### 1) 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

亜熱帯ダイポールモード現象とは、南インド洋亜熱帯域の南半球側において、数年に一度夏季の海面水温が変化することによって発生する、アフリカ南部の気候に重大な影響を及ぼす現象である。東京大学の山形俊男名誉教授が研究代表者として取り組んだ「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム」(SATREPS)の「気候変動予測とアフリカ南部における応用」プロジェクトでは、亜熱帯ダイポールモード現象のメカニズムの解明と予測、ダウンスケーリング、季節予測、大気と海洋の結合モデル、早期予報システムを構築することで、ダイポールモード現象が南アフリカの気象に与える影響を予測することを可能とした。

#### 2) 具体的な成果・貢献

平常時、南インド洋の同海域には反時計回りの高気圧性の風があり、熱帯域の降雨帯に吹き込んでいる。しかし、亜熱帯ダイポールモード現象が発生し、高気圧が移動し海面水温が変化すると降雨帯の分布が変化し、結果としてアフリカ南部の降雨量が増加することが確認されている(図 2-11 参照)。先述の「気候変動予測とアフリカ南部における応用」プロジェクトでは、亜熱帯ダイポールモード現象が南アフリカの気象に与えるこのような影響を予測することで、現地の農作物生産を支援することを可能とした。現在はスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用いて、同現象の発生および南アフリカの気候を予測している。



図 2-11 ダイポールモード現象の概要

(出所: JST SATREPS ウェブサイト ([http://www.jst.go.jp/global/case/environment\\_energy\\_2.html](http://www.jst.go.jp/global/case/environment_energy_2.html)))

## (5) アルゴフロートプロジェクト

### 1) 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

アルゴフロートプロジェクト（アルゴ計画）とは、気候変動に影響を及ぼす海洋内部の変動を監視するために、300km 四方に 1 台、全世界で約 3,000 台のフロートを展開して全球的な水温・塩分・圧力データを収集する国際プロジェクトである。個々のアルゴフロートは全長約 2m、重量約 20kg 程度で、各研究機関・省庁の観測船などから投下され、最大水深 2,000m まで沈んだ後に観測しながら海面まで浮上して衛星経由でデータを送信し、その後再び沈むというサイクルを 4 年程度繰り返す（図 2-12 参照）。取得されたデータは、日本では例えば JAMSTEC のウェブサイト<sup>28</sup>で公開されている。

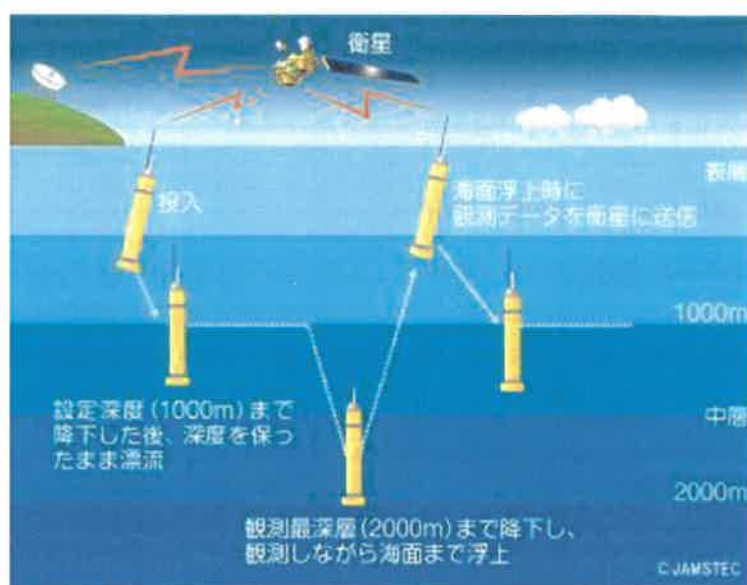


図 2-12 アルゴフロートの概要

(出所：JAMSTEC 提供)

### 2) 具体的な成果・貢献

これまで 30 か国を超える国と機関がアルゴ計画に参加し、現在は 3,900 台以上の様々な国籍を持つアルゴフロートが常時稼働するようになった。日本では JAMSTEC と気象庁が中心となり、高校や大学の練習船による協力も得つつ、アルゴフロートの投入を行ってきている。なお、日本は約 200 台のアルゴフロートを常時運用している（図 2-13 参照）。

このように、日本と世界各国が協力してアルゴフロートを投入することで、海洋内部の継続監視が可能になった。貯蓄熱量の変化や海洋循環を把握し、気候変化予測のデータとして活用することで、予測・予報の精度向上に貢献している。

<sup>28</sup> JAMSTEC 「Argo PROJECT」 (<http://www.jamstec.go.jp/ARGO/index.html>)

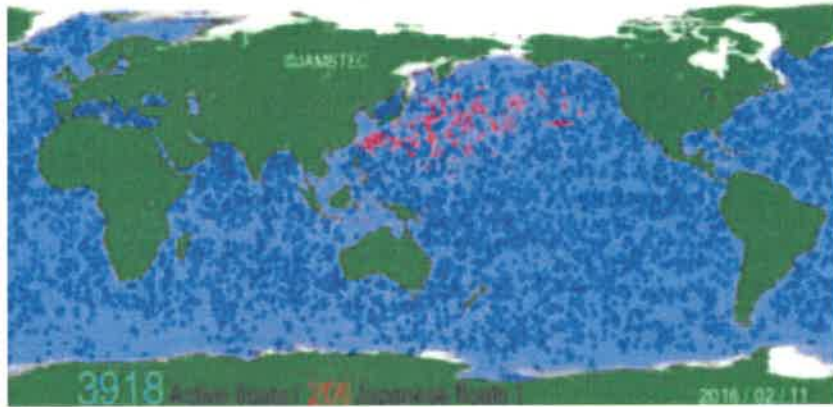


図 2-13 アルゴフロートの投入・分布状況

(出所：JAMSTEC アルゴ計画ウェブサイト (<http://www.jamstec.go.jp/ARGO/data/index.html>))

## (6) 海洋データ同化を取り入れた高精度な気候予測の実現

### 1) 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

海洋データ同化とは、観測データと数値シミュレーション結果を融合させる手法のことである。予測シミュレーションを行う際に、データ同化技術を用いて実際の観測データをシミュレーション結果に取り入れることで、より精度の高い大気・海洋環境の再現場（初期値）が得られる。こうした手法を用いて、より正確な予測を実現する研究が進められている。

### 2) 具体的な成果・貢献

大気・海洋で実際観測されたデータを最適化理論に従って取り込み、数値モデル（大気・海洋結合モデル）によるシミュレーション結果を修正し改善することで新たな統合データセットを作成する、4次元変分法大気海洋結合データ同化システム（4D-VAR）の研究が進んでいる。時空間的に断片的にしか得られない観測情報を、数値モデルを用いて力学的に補間する手法である。4次元変分法とは、変分原理を用いて情報を最適に融合する手法の1つであり、力学的に整合性のある大気・海洋3次元空間の時系列（4次元）を再現するものである（図 2-14 参照）。日本はこのような海洋データ同化の研究が進んでおり、エルニーニョ予報の大幅な精度向上に貢献する等、これまで世界をリードする顕著な成果を残してきた<sup>29</sup>。

<sup>29</sup> JAMSTEC 「エルニーニョ現象の予測に新たな展開」

([http://www.jamstec.go.jp/j/about/press\\_release/quest/20151125/](http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/quest/20151125/))

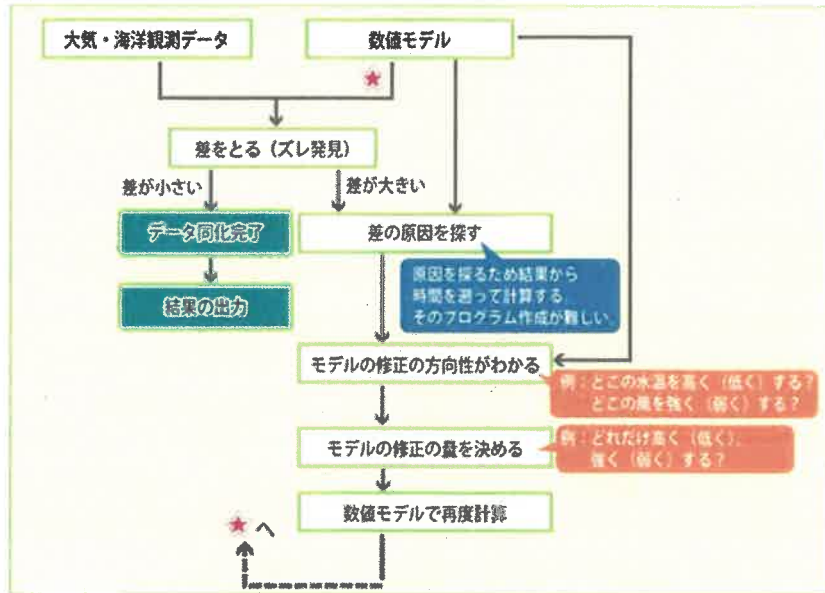


図 2-14 4次元変分法のイメージ

(出所：JAMSTEC ([http://www.jamstec.go.jp/j/about/press\\_release/quest/20151125/](http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/quest/20151125/)))

## 2.4.2 当該貢献事例における海洋科学の現状・可能性

### (1) 海洋科学による貢献実績

気象・気候における海の複雑な役割の理解が進み、予測精度が格段に向上している。大気海洋相互作用（海洋と大気の間で熱や水蒸気等の交換が行われ互いに影響しあうこと）や海洋大循環（海中に入った熱が海流等で深海まで運ばれ循環し再び海面に戻り、10～100年単位の気候変化に関係すること）等、気象・気候における海洋の役割の理解が進んだことで、気象・気候の予測精度は格段に向上している。

こうした仕組みの理解と予測は、異常気象による災害への対策にあたり非常に重要であり、日本を含む各国が観測・予測に取り組んでいる。実際に、日本の猛暑予測、オーストラリアの干ばつ予測、アフリカ南部の豪雨予測等が的中している実例がある。

気象・気候の予測結果は、社会・経済活動の中で既に利用されている。上記のような予測結果に基づいた災害対策が、各国で既に始められている。また、日本の気象庁によるエルニーニョ予報（気象庁のスーパーコンピュータにより計算）は既にアパレル業界等で服の生産や販売計画等でも活用されており、産業利用としての価値も認められる。

### (2) 海洋科学による更なる貢献の可能性

海洋を含めた気象・気候の自然現象の予測を行うことで、予報精度をさらに向上し、人的・経済的被害の削減等にご貢献することが可能である。海の変化を更に正確にとらえ、それを原因とする大雨等の異常気象発生を事前に予測することで予防策を講じ、被害削減を可能にする。今後、予測精度を向上させ、警報、堤防等のインフラ整備計画などで利用すれば、より

効果的な災害対策や農業の被害対策などに貢献できると期待される。

米国国立気候データセンター（National Climatic Data Center : NCDC）の調査では、1980年～2013年の間に10億ドル以上の損害をもたらした気象・気候災害は、米国内だけで170件、被害総額は1兆ドルに及ぶことが報告されている<sup>30</sup>。これを削減できれば、大きな経済的利益となる。

また、人為的要因による気候変動がもたらす気象・気候の将来変化・激化を予測し、長期的な対策に役立てることが可能である。今後、気候変動・地球温暖化が進むことで、気象・気候現象の変化・激化や海面水温の上昇による国土の喪失なども危惧されており、適切な予測と対策は喫緊の課題である。その対策を行うためには、自然変化と人為的变化の両方を含めた海と大気データを結合した予測が重要となる。特に、日本は観測データと数値シミュレーション結果を融合させ、時空間的にまばらな観測データを補うことで予測精度を向上させる「海洋データ同化」の解析能力で世界トップクラスにあり、人類の持続的発展において日本が主導的役割を果たすことも可能である。このような日本の海洋・気候研究においては、「地球シミュレータ」が多大な貢献をしてきたことも重要である。

その他、気候変動による北極の氷の減少を正確に予測することで、これまでよりも最大約4割短い距離で航行可能な北極海航路が利用可能となり、燃料削減や物流への経済効果も期待されているなど、気候変動予測の様々な応用も見込まれる。

---

<sup>30</sup> JAMSTEC 山形俊男「異常気象をもたらす気候変動現象の発見とその予測」  
([http://www.jamstec.go.jp/res/ress/yamagata/Gakujutsu\\_no\\_Doko\\_2015.pdf](http://www.jamstec.go.jp/res/ress/yamagata/Gakujutsu_no_Doko_2015.pdf))



## 海洋科学による貢献実績・現状

気象・気候における海の複雑な役割の理解が進み、予測精度は格段に向上しています。

- 大気海洋相互作用(海洋と大気の間で熱や水蒸気等の交換が行われ互いに影響し合うこと)や海洋大循環(海中に入った熱が海流等で深海まで運ばれ循環し再び海面に戻り、10～100年単位の気候変化に関係すること)等、気象・気候における海洋の役割の理解が進んだことで、気象・気候の予測精度は格段に向上しています。
- こうした仕組みの理解と予測は、異常気象による災害への対策に当たり非常に重要であり、日本を含む各国が観測・予測に取り組んでいます。実際に、日本の猛暑予測、オーストラリアの干ばつ予測、アフリカ南部の豪雨予測等が的中している実例があります。

気象・気候の予測結果は、社会・経済活動の中で既に利用されています。

- 上記のような予測結果に基づいた災害対策が、各国で既に始められています。
- また、日本の気象庁によるエルニーニョ予報(気象庁のスバコンにより計算)は既にアパレル業界等で服の生産や販売計画等でも活用されており、産業利用としての価値も認められます。

## 更なる貢献の可能性

気象・気候の自然現象の予測精度をさらに向上し、人的・経済的被害の削減等に貢献します。

- 海の変化を更に正確にとらえ、それが原因となる大雨等の異常気象発生を事前に予測できるようになることで予防策を講じ、被害削減を可能にします。今後、予測精度を向上させ、警報、堤防等のインフラ整備計画などで利用すれば、より効果的な災害対策や農業の被害対策などに貢献できると期待できます。
- 米国国立気候データセンター(NCDC)の調査では、1980年～2013年の間に10億ドル以上の損害をもたらした気象・気候災害は米国内だけで170件、被害総額は1兆ドルに及ぶことが報告されています。これを削減出来れば、大きな経済的利益となります。

人為的要因による気候変動がもたらす気象・気候の将来変化・激化を予測し、長期的な対策に役立ちます。

- 今後、気候変動・地球温暖化が進むことで、気象・気候現象の変化・激化や海面水温の上昇による国土の喪失なども危惧されており、適切な予測と対策は喫緊の課題です。
- 対策を行うためには、自然変化と人為的変化の両方を含めた海と大気の詳細なデータを結合した予測が重要です。日本はその解析能力で世界トップクラスにあり(地球シミュレータが日本の海洋・気候研究に貢献)、人類の持続的発展において日本が主導的役割を果たすことも可能です。
- その他、気候変動による北極の氷の減少を正確に予測することで、これまでよりも最大約4割短い距離で航行可能な北極海航路が利用可能となり、燃料削減や物流への経済効果も期待されているなど、気候変動予測の様々な応用も見込まれます。

図 2-15 【環境】貢献事例における海洋科学の現状・可能性

### 2.4.3 当該貢献事例の詳細

- 気象庁ウェブサイト (<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-7.html>)  
大気海洋結合モデルの概要、活用状況を確認できる。
- 気象研究所 台風研究部 ウェブサイト  
([http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ty/IND/IND\\_wada/Akiyoshi\\_Wada-sjis.html](http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ty/IND/IND_wada/Akiyoshi_Wada-sjis.html))  
台風海洋相互作用に関する研究の詳細を確認できる。
- JST SATREPS ウェブサイト「気候変動予測とアフリカ南部における応用」  
([http://www.jst.go.jp/global/case/environment\\_energy\\_2.html](http://www.jst.go.jp/global/case/environment_energy_2.html))  
ダイポールモード現象の解明・予報に関する詳細を確認できる。
- JAMSTEC Argo 計画ウェブサイト (<http://www.jamstec.go.jp/ARGO/index.html>)  
アルゴ計画の詳細、現在のアルゴフロートの投下状況等が確認できる。
- JAMSTEC ウェブサイト  
([http://www.jamstec.go.jp/j/about/press\\_release/quest/20151125/](http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/quest/20151125/))  
4次元変分法大気海洋結合データ同化システム(4D-VAR)の詳細、エルニーニョ予報精度改善への貢献等の詳細を確認できる。

## 2.5 貢献事例 4：【安全・安心】地震・津波への防災・減災

### 2.5.1 当該貢献事例の全体像

日本は世界有数の地震・津波の被災国であり、これまで地震メカニズムの解明と、それに起因した津波の解明・予測技術の開発に取り組んできた。具体的には、海底掘削による地震発生源（プレート境界）の調査、津波計などの観測技術、津波伝播計算、浸水域シミュレーションの高精度化など、津波防災計画や地震発生直後の津波高・浸水予測、避難警報の発出などに積極的に貢献してきた。

今後も、津波はリアルタイム（襲来前）予測により被害を大きく低減することができる災害であり、海洋科学の発展に伴って死者を限りなく少なくすることが可能であるため、貢献の余地が大きく残されている分野と言える。また、防災分野での新たな産業活動の活性化するとともに、日本の防災技術やノウハウを海外展開することで、国際的なプレゼンスの向上を見込むことができる。

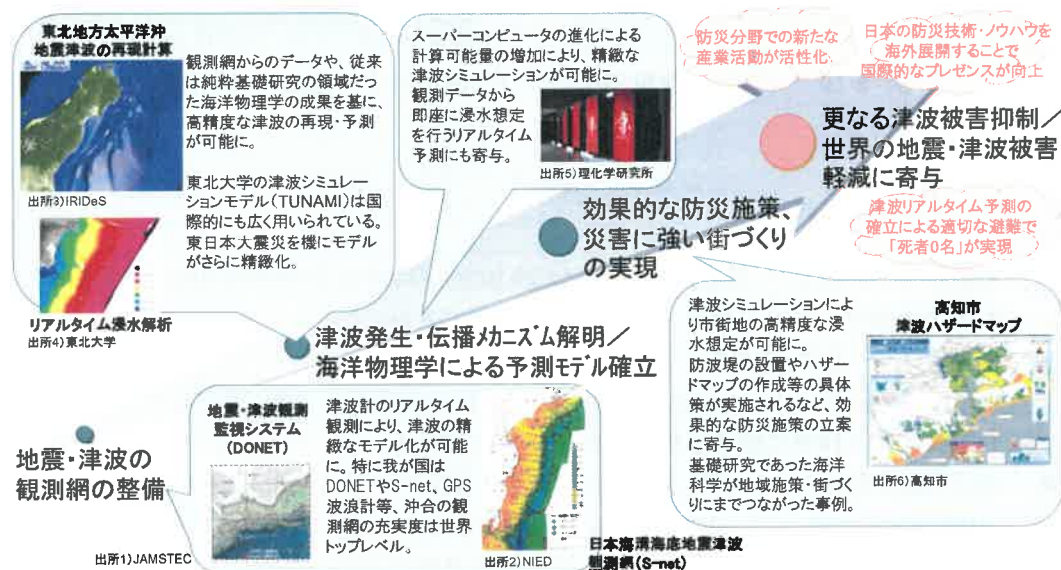


図 2-16 【安全・安心】貢献事例の全体像

#### (1) 地震・津波の観測網の整備

##### 1) 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

日本の周辺海域で様々な形の地震・津波観測機器が設置され、ネットワークシステムとして整備されている。こうした各種のネットワークによって、地震や津波の精緻なモデル化ができるようになった。あわせて、地震発生直後の津波高・浸水予測、リアルタイム予測を行ううえでの重要なデータを瞬時に得ることができる。また、巨大地震や津波が発生するメカニズムの解明にも資することが期待されている。特に我が国は DONET や S-net、GPS 波浪計等、沖合の観測網の充実度は世界トップレベルにある（詳細は 2）で紹介する）。

## 2) 具体的な成果・貢献

### ① 地震・津波観測監視システム (DONET)

地震・津波観測監視システム (Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis : DONET) は、JAMSTEC により開発された、通信用海底ケーブル技術を用いた両端陸揚げの基幹ケーブルシステムである。熊野灘沖東南海震源域における地震・津波観測監視システム「DONET1」では、三重県尾鷲市古江町～紀伊半島沖合の総延長約 250 km (給電岐路ケーブルを除く) の基幹ケーブルがループ状に敷設され、途中 5 箇所の拡張用分岐装置にそれぞれ 4 つの観測点が接続されている。さらに、2010 年度より、潮岬沖から室戸岬沖の南海地震震源域における地震・津波観測監視システム「DONET2」も設置された。海溝型巨大地震発生が海底に設置された観測装置により検知されることで、南海トラフで発生する巨大地震の主要動や津波の到達前に情報発信、避難誘導を行うことができると見込まれている。

また、各観測点には海底における科学観測を実施するために必要な機能が集約されている。具体的には、強震計、広帯域地震計、水晶水圧計、微差圧計、ハイドロフォン、精密温度計が設置され、地殻変動から大きな地振動まで、様々なタイプの海底の動きを捉えることができるようになっている。

津波のリアルタイム予測への貢献以外にも、地震予測モデルの高度化により、震源要素の即時推定や震源モデルの構築が可能となるうえ、地殻活動を長時間スケールでモニタリングすることで、地震発生メカニズムの解明・研究にも貢献することができる<sup>31</sup>。

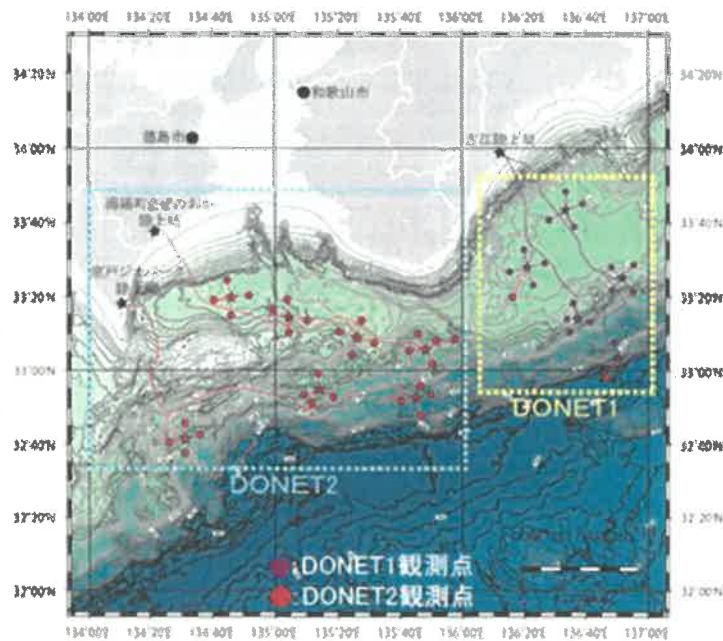


図 2-17 地震・津波観測監視システム (DONET1, DONET2)

(出所 : JAMSTEC (<https://www.jamstec.go.jp/donet/j/donet/>))

<sup>31</sup> JAMSTEC (<https://www.jamstec.go.jp/donet/j/donet/>)

## ② 日本海溝海底地震津波観測網 (S-net)

地震計と津波計が一体となった観測装置を光海底ケーブルで接続し、これを東北地方太平洋沖の海底に設置し、リアルタイムに24時間連続で観測データを取得するシステムであり、観測点は150箇所、ケーブルの全長は約5,700kmである。海溝型地震や直後の津波を直接的に検知し、迅速・高精度な情報伝達により被害の軽減や避難行動などの防災対策に貢献することが期待されている。

東日本太平洋沖合で発生する津波について、津波計（水圧計）で直接検知し、高精度かつリアルタイムの観測を行う。日本海溝付近で津波が発生した場合、従来と比較し20分程早く津波を実測・検知することができ、沿岸へ到達前に津波高を高精度に即時予測することが可能となると同時に、30秒程早く地震動を早期検知し、緊急地震速報の高度化、早期の避難行動等被害の軽減等に貢献することができる。

また、海底観測網の各点に到達する地震動と津波の伝播の様子を直接捉えることが可能となり、津波予測技術の高度化の研究に貢献することができる。あわせて、観測網からのリアルタイムの連続データより、従来の陸域の観測網では困難な海底下の詳しい地震活動や地殻上下変動の調査解析が可能となる<sup>32</sup>。

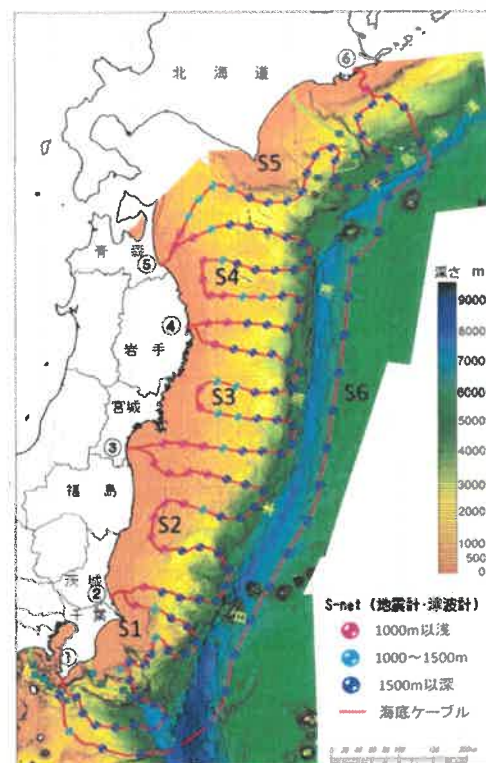


図 2-18 日本海溝海底地震津波観測網 (S-net)

(出所：防災科学技術研究所 (<http://www.bosai.go.jp/inline/>))

<sup>32</sup> 防災科学技術研究所 (<http://www.bosai.go.jp/inline/>)

### ③ GPS 波浪計

GPS 波浪計とは、沖合に浮かべられているブイの上下変動を GPS 衛星を用いて計測し、波浪や潮汐等を観測する機器である。沿岸部に設置されているため単体でリアルタイム（津波来襲前）予測に利用するのは難しいが、津波の挙動を確認する意味でも重要である。実際に東日本大震災では、東北地方太平洋側の GPS 波浪計において、津波が沿岸に到達する約 10 分前に 6m を超える津波高を観測した。このデータは、気象庁により津波警報の切替えが行われる際に活用された<sup>33</sup>。



図 2-19 岩手県釜石沖の GPS 波浪計（写真提供：国土交通省東北地方整備局）

（出所：気象庁（<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/tsunami/newmethod.html>））

## (2) 津波発生・伝播メカニズム解明／海洋物理学による予測モデル確立

### 1) 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

観測網からのデータや、従来は基礎研究の領域だった海洋物理学の成果を基に、高精度な津波の再現・予測が可能になった。東北大学の津波シミュレーションモデル（TUNAMI: Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation）は国際的にも広く用いられている。東日本大震災を機に、津波モデルのさらなる精緻化が行われた。

また、スーパーコンピュータの進化による計算可能量の増加により、精緻な津波シミュレーションが可能になるとともに、観測データから即座に浸水想定を行う高度なリアルタイム（来襲前）予測の可能性も考えられるようになりつつある。

### 2) 具体的な成果・貢献

東北大学が中心となって構築された津波シミュレーションモデル（TUNAMI）など日本発の津波モデルは世界的にも広く活用されている。

東北大学と富士通研究所との共同研究により、TUNAMI の一種である「TUNAMI-N2」を基に、「京」等のスーパーコンピュータで実行可能な高解像度の津波モデルが開発された。

<sup>33</sup> 気象庁（<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/tsunami/newmethod.html>）

このモデルにより、仙台市の臨海域の南北約 10km を 5m 単位でモデル化した場合でも、東日本大震災当時の浸水概要を把握するのに必要なシミュレーションが「2分以内」で完了する計算となる。このモデルを活用すれば、津波の波源を推定するのに要する時間を含めても「最短約 10 分」でおおよその浸水域を推定することができることが判明した<sup>34</sup>。

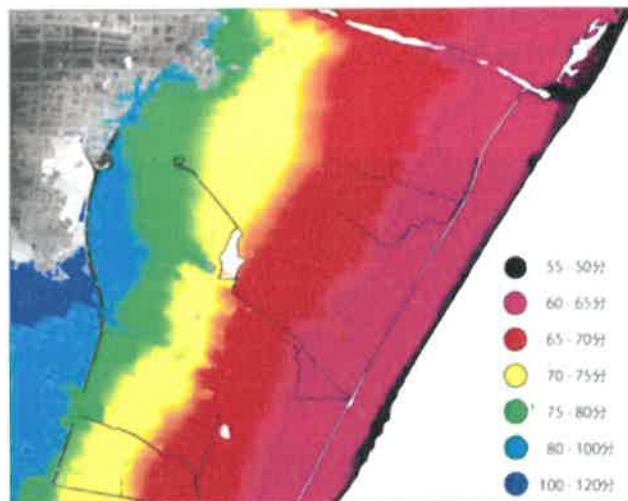


図 2-20 TUNAMI-N2 を基にしたリアルタイム浸水解析の結果  
(津波の到達時間の推定値)

(出所：東北大学 (<http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2015/02/press20150227-01.html>))

### (3) 効果的な防災施策、災害に強い街づくりの実現

#### 1) 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

津波シミュレーションにより市街地の高精度な浸水想定が可能になった。こうした高精度な浸水想定に基づき、防波堤の設置やハザードマップの作成等といった効果的な防災施策の検討・立案、およびそれらを基にした災害に強い街づくりが進められている。

#### 2) 具体的な成果・貢献

津波の予測計算に基づき、ハザードマップの作成が行われ、住民への啓発等に活用されている。例えば、高知市では、2012 年 12 月に高知県より公表された、「【高知県版第 2 弾】南海トラフの巨大地震による震度分布・津波浸水予測」を基に、市において発生するおそれがある揺れの大きさや津波による浸水深・範囲を示した「高知市地震・津波ハザードマップ」を作成している。最大クラスの南海トラフ地震が発生したときに予想される浸水深・範囲について示している。

<sup>34</sup> 富士通株式会社 (<http://journal.jp.fujitsu.com/2015/04/08/01/>)

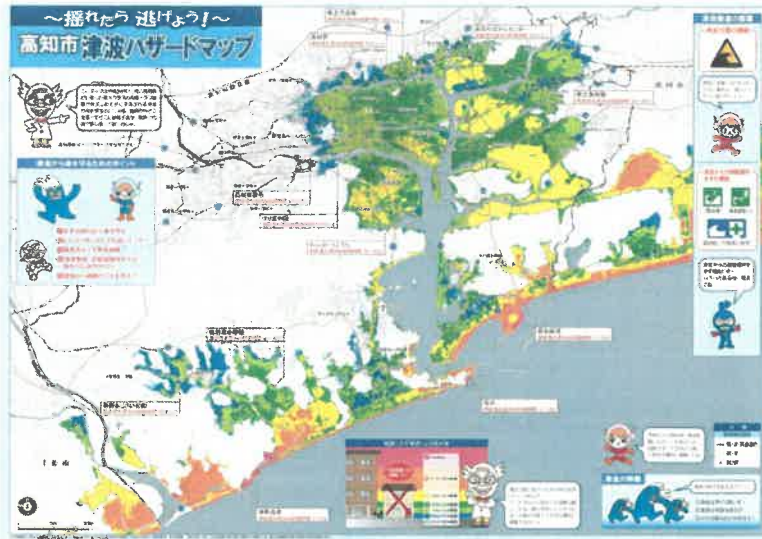
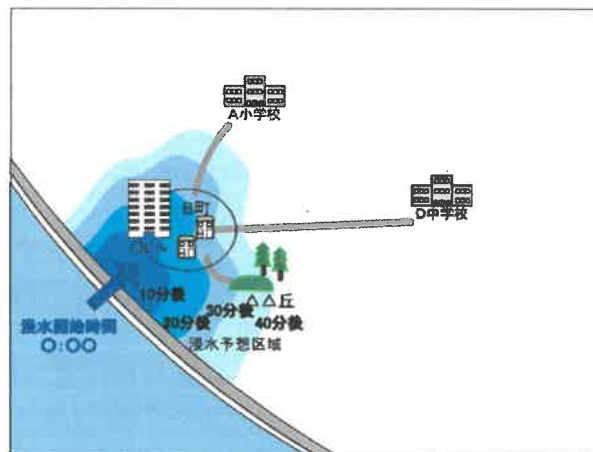


図 2-21 高知市津波ハザードマップ

(出所：高知市 (<https://www.city.kochi.kochi.jp/uploaded/attachment/26957.pdf>))

このようなハザードマップの浸水範囲、浸水深等の情報を活用することで、住民の避難ルート、避難場所等を検討することができ、被害を最小化することが可能となる。あわせて、ハザードマップ上の危険箇所、避難経路等の情報を活用して各避難場所の規模およびそれらに応じた緊急自動車配車や物資輸送量・経路等を検討することができる等、防災に直接的に役立っている。



⇒

時間的余裕	避難場所候補	予想浸水区域	距離
避難不可能	○ビル	区域内	直近
避難困難	△△丘	区域内	近い
避難可能	A小学校	区域外	やや遠い
避難可能	D中学校	区域外	遠い

⇒ 避難が時間的に難しい場合は「○ビル」あるいは「△△丘」を避難場所として設定  
津波の場合は、地震発生から津波来襲までの時間が短いため、避難場所  
はできるだけ近い方が望ましい。(高齢化にも対応)

図 2-22 津波時避難場所検討におけるハザードマップの活用イメージ

(出所：国土交通省 ([http://www.mlit.go.jp/kowan/hazard\\_map/4/shiryou1.pdf](http://www.mlit.go.jp/kowan/hazard_map/4/shiryou1.pdf)))

## 2.5.2 当該貢献事例における海洋科学の現状・可能性

### (1) 海洋科学による貢献実績

現在までに津波シミュレーション技術は大きく進展し、既に津波浸水域や到達時間の高精度な予測が可能な段階に達している。こうした予測を基に、防波堤の設置やハザードマップの作成、危険域への人の居住の制限等の具体策が取られるようになった。海洋科学の知見が、土木設計や街づくりにまでつながっていることを示す分かりやすい事例である。

また、我が国の高精度の津波被害予測データが、他国の効果的な防災施策の立案、災害に強い街づくりに寄与している。TUNAMI など日本発の津波モデルは世界的にも広く活用されているほか、東北大学では、国際測地学地球物理学連合 (International Union of Geodesy and Geophysics : IUGG) とユネスコ政府間海洋学委員会 (Intergovernmental Oceanographic Commission : IOC) の共同事業の援助による TIME プロジェクト (Tsunami Inundation Modeling Exchange) を実施し、津波被害を受けたまたは予想される地域に対し、TUNAMI を含めた数値モデルの技術移転を行っている。

あわせて、日本には、世界有数の津波観測網が整備されており、代表的な例として JAMSTEC の地震・津波観測監視システム (DONET) や、防災科学技術研究所の日本海溝海底地震津波観測網 (S-net) が挙げられる。また、観測の種類が多様である点も強みであり、国土交通省の GPS 波浪計は、津波の挙動を確認・検証する意味でも有効である。沖合から来襲する津波を、この観測網でリアルタイムに捉えることで、迅速に浸水予測を行い、早期避難の判断材料として活用されている。一方、東日本大震災の際には、想定された地震規模を遥かに上回ったために、地震直後に出された津波高さの予報が過小となるなど、リアルタイムでの推定法には改善の余地が残っている。

### (2) 海洋科学による更なる貢献の可能性

津波は我が国で避けられない低頻度の重大災害であり、今後、南海トラフ地震や首都直下型地震に伴う津波の発生が確実視されている。一方、津波は発生してから来襲までにある程度時間的な余裕があることを利用し、観測網や予測モデルの充実・改善を進めることで「リアルタイム津波予測」による「リアルタイム避難」を実現すれば、「津波死者 0 名」を目指すことも可能である。

また、2次元だけではなく3次元での津波計算が可能になり、漂流物の解析等もできるようになれば、より正確な被害予測、効果的な復旧施策の立案にも資することができる。

あわせて、津波によって 250,000 人もの犠牲者を出した 2004 年スマトラ沖地震をはじめとして、特に途上国は被害が大きくなる傾向がある。日本は津波観測・予測に高い技術を有するだけでなく、ハザードマップ等の被害の可視化技術、街づくりへの応用、防災教育などにも大きな実績・ノウハウを蓄積している。こうした実績・ノウハウの海外展開を加速することで、世界での津波被害の低減に貢献することが可能である。例えば、12月の国連総会で共通記念日として採択された「世界津波の日 (11月5日:安政南海地震津波)」等を通じ、日本のプレゼンスを上げていくことが重要である。途上国にとどまらず、世界各地で状況が異なる中で、日本の厳しい防災レベルを世界に浸透させ、災害への安全性を高めることが必要である。



## 海洋科学による貢献実績・現状

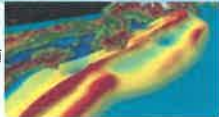
高精度の津波被害予測データが、効果的な防災施策の立案、災害に強い街づくりに寄与しています。

- ・津波シミュレーション技術は大きく進展し、既に津波浸水域や到達時間の高精度な予測が可能な段階に達しています。
- ・こうした予測を基に、防波堤の設置や危険域への人の居住の制限等の具体策が取られるようになりました。海洋科学の知見が、土木設計や街づくりにまでつながった貢献事例と言えます。
- ・東北大学が中心となって構築された津波シミュレーションモデル(TUNAMI)など、日本発の津波モデルは世界的にも広く活用されています。

世界有数の観測網が、早期避難の実現に寄与しています。

- ・日本には、世界有数の津波観測網が整備されています。沖合から来襲する津波を、この観測網でリアルタイムに捉えることで、迅速に浸水予測を行い、早期避難の判断材料として活用されています。
- ・一方、東日本大震災の際には、想定された地震規模を遥かに上回ったために、地震直後に出された津波高さの予報が過小となるなど、リアルタイムでの推定法には改善の余地が残っています。

津波シミュレーション動画  
のスクリーンショット  
出所)JAMSTEC



## 更なる貢献の可能性

観測網や予測モデルの充実・改善により、「津波死者0名」を目指すことも可能です。

- ・今後、南海トラフ地震や首都直下型地震に伴う津波の発生が確実視されています。
- ・しかし、津波は発生から到達までに時間がかかります。そのため、観測網や予測モデルの充実・改善を進めることで「リアルタイム津波予測」による「リアルタイム避難」を実現すれば、「津波死者0名」を目指すことも可能です。
- ・3次元での津波計算が可能になれば、より正確な被害予測、効果的な復旧施策の立案にも資することができます。



日本の防災技術・ノウハウを海外展開することで国際的なプレゼンス向上に寄与します。

- ・津波によって250,000人もの犠牲者を出した2004年スマトラ沖地震をはじめとして、特に途上国は被害が大きくなる傾向があります。
- ・日本は津波観測・予測に高い技術を有するだけでなく、ハザードマップ等の被害の可視化技術、街づくりへの応用、防災教育などにも大きな実績・ノウハウを蓄積しています。
- ・こうした実績・ノウハウの海外展開を加速することで、世界での津波被害の低減に貢献することが可能です。

図 2-23 【安全・安心】貢献事例における海洋科学の現状・可能性

### 2.5.3 当該貢献事例に関する参考情報

- 気象庁ウェブサイト  
(<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/tsunami/ryoteki.html>)  
気象庁の津波警報・注意報の仕組みや、数値シミュレーションの概要を確認できる。
- JAMSTEC ウェブサイト (<https://www.jamstec.go.jp/donet/j/donet/donet2.html>)  
DONET の概要情報および DONET を用いた研究成果を確認できる。
- 防災科学技術研究所ウェブサイト (<http://www.bosai.go.jp/inline/seibi/seibi01.html>)  
S-net 整備事業の概要情報および津波防災への貢献例を確認できる。
- 東北大学災害科学国際研究所 (IRIDeS) 災害リスク研究部門津波工学研究室ウェブサイト (<http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/J/index.html>)  
東北大学の津波数値モデル関連の情報を確認できる。
- 高知市ウェブサイト  
(<https://www.city.kochi.kochi.jp/uploaded/attachment/26957.pdf>)  
高知市の地震・津波ハザードマップを確認できる。
- 国土交通省「ハザードマップを活用した総合的な津波・高潮防災対策」  
([http://www.mlit.go.jp/kowan/hazard\\_map/4/shiryou1.pdf](http://www.mlit.go.jp/kowan/hazard_map/4/shiryou1.pdf))  
国土交通省が想定するハザードマップの活用方法を確認できる。