



TPoS 2020
Tropical Pacific Observing System

Second Report 2019

Executive Summary

tpos2020.org



第二次報告書

2019

日本語概要

Second Report of TPOS 2020

May 2019

Coordinating Lead Authors: William S. Kessler¹, Susan E. Wijffels², Sophie Cravatte³ and Neville Smith⁴

Lead Authors: Arun Kumar⁵, Yosuke Fujii⁶, William Large⁷, Yuhei Takaya⁸, Harry Hendon⁹, Stephen G. Penny¹⁰, Adrienne Sutton¹, Peter Strutton¹¹, Richard Feely¹, Shinya Kouketsu¹², Sayaka Yasunaka¹², Yolande Serra¹³, Boris Dewitte^{3,14}, Ken Takahashi¹⁵, Yan Xue⁵, Ivonne Montes¹⁶, Carol Anne Clayson², Meghan F. Cronin¹, J. Thomas Farrar², Tong Lee¹⁷, Shayne McGregor¹⁸, Xiangzhou Song¹⁹, Janet Sprintall²⁰, Andrew T. Wittenberg²¹, Weidong Yu²², Kentaro Ando¹², Florent Gasparin²³, Dean Roemmich²⁰, Jessica Masich¹, Kevin O'Brien^{1,13}, David Legler²⁴, Iwao Ueki¹², E. Robert Kursinski²⁵, Katherine Hill²⁶, Kim Cobb²⁷, Larry O'Neill²⁸, Lucia Upchurch^{1,13}, Shelby Brunner²⁴

See Appendix C for the complete list of authors, contributors and reviewers. Affiliations for authors listed above appear on the next page. Authors above are listed in chapter order.

This report is GOOS-234, PMEL contribution number 4911 and a JISAO contribution.

Please use the following citation for the full report:

Kessler, W.S., S. E. Wijffels, S. Cravatte, N. Smith, and Lead Authors, 2019: Second Report of TPOS 2020. GOOS-234, 265 pp. [Available online at <http://tpos2020.org/second-report/>.]

Citation for the Executive Summary only:

Kessler, W.S., S. E. Wijffels, S. Cravatte, N. Smith, and Lead Authors, 2019: Executive Summary. Second Report of TPOS 2020. GOOS-234, pp. i-xiv [Available online at <http://tpos2020.org/second-report/>.]

Japanese Translation provided with courtesy from Masaki Katsumata, Kentaro Ando and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

TPOS 2020 第二次報告書

2019年5月

主執筆者: William S. Kessler¹, Susan E. Wijffels², Sophie Cravatte³ and Neville Smith⁴

貢献執筆者: Arun Kumar⁵, Yosuke Fujii⁶, William Large⁷, Yuhei Takaya⁸, Harry Hendon⁹, Stephen G. Penny¹⁰, Adrienne Sutton¹, Peter Strutton¹¹, Richard Feely¹, Shinya Kouketsu¹², Sayaka Yasunaka¹², Yolande Serra¹³, Boris Dewitte^{3,14}, Ken Takahashi¹⁵, Yan Xue⁵, Ivonne Montes¹⁶, Carol Anne Clayson², Meghan F. Cronin¹, J. Thomas Farrar², Tong Lee¹⁷, Shayne McGregor¹⁸, Xiangzhou Song¹⁹, Janet Sprintall²⁰, Andrew T. Wittenberg²¹, Weidong Yu²², Kentaro Ando¹², Florent Gasparin²³, Dean Roemmich²⁰, Jessica Masich¹, Kevin O'Brien^{1,13}, David Legler²⁴, Iwao Ueki¹², E. Robert Kursinski²⁵, Katherine Hill²⁶, Kim Cobb²⁷, Larry O'Neill²⁸, Lucia Upchurch^{1,13}, Shelby Brunner²⁴

主執筆者、貢献執筆者、および査読者の一覧につきましては補足資料 C を参照してください。上記筆者の所属機関は次ページに記載しています。上記著者は章の順に記載しています。

本報告書は GOOS-234、PMEL 貢献番号 4911、および JISAO による貢献文書です。

報告書の引用の際には以下を使用してください。

Kessler, W.S., S. E. Wijffels, S. Cravatte, N. Smith, and Lead Authors, 2019: Second Report of TPOS 2020. GOOS-234, 265 pp. [<http://tpos2020.org/second-report/>より入手可]

概要のみの引用の際には以下を使用してください:

Kessler, W.S., S. E. Wijffels, S. Cravatte, N. Smith, and Lead Authors, 2019: Executive Summary. Second report of TPOS 2020. GOOS-234, pp. i-xiv [<http://tpos2020.org/second-report/>より入手可]

概要の和訳は勝俣昌己、安藤健太郎、及び JAMSTEC より提供されました。

Affiliations

- ¹ Pacific Marine Environmental Laboratory, NOAA, Seattle, WA, USA
 - ² Department of Physical Oceanography, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA, USA
 - ³ LEGOS, Université de Toulouse, IRD, CNES, CNRS, UPS, Toulouse, France
 - ⁴ GODAE Ocean Services, Canterbury, Australia
 - ⁵ Climate Prediction Center, National Centers for Environmental Prediction, NOAA, USA
 - ⁶ Oceanography and Geochemistry Research Department, MRI/JMA, Tsukuba, Japan
 - ⁷ National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder, CO, USA
 - ⁸ Climate Research Department, MRI/JMA, Tsukuba, Japan
 - ⁹ Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia
 - ¹⁰ Department of Atmospheric and Oceanic Science, University of Maryland, College Park, MD, USA
 - ^{11a} ARC Centre of Excellence for Climate Extremes, University of Tasmania, Hobart, Tasmania, Australia
 - ^{11b} Institute for Marine and Antarctic Studies, University of Tasmania, Hobart, Tasmania, Australia
 - ¹² JAMSTEC, Yokosuka Research Institute for Global Change, Yokosuka, Japan
 - ¹³ Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean, University of Washington, Seattle, WA, USA
 - ^{14a} Centro de Estudios Avanzado en Zonas Áridas (CEAZA), Coquimbo, Chile
 - ^{14b} Departamento de Biología, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile
 - ^{14c} Millennium Nucleus for Ecology and Sustainable Management of Oceanic Islands (ESMOI), Coquimbo, Chile
 - ¹⁵ Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Lima, Peru
 - ¹⁶ Instituto Geofísico del Peru, Lima, Peru
 - ¹⁷ JPL, California Institute of Technology, Pasadena, CA, USA
 - ¹⁸ School of Earth Atmosphere & Environment, Monash University, Clayton, Australia
 - ¹⁹ Ocean University of China, Physical Oceanography Laboratory, Qingdao, China
 - ²⁰ Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego, La Jolla, CA, USA
 - ²¹ Seasonal to Decadal Variability and Predictability Division, NOAA/GFDL, Princeton, NJ, USA
 - ²² National Marine Environmental Forecasting Center/FIO, SOA, Qingdao, China
 - ²³ Mercator-Ocean, Ramonville St-Agne, Toulouse, France
 - ²⁴ Ocean Observing and Monitoring Division, NOAA, Silver Spring, MD, USA
 - ²⁵ University of Arizona, Tucson, AZ, USA
 - ²⁶ Global Climate Observing System and Global Ocean Observing System, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland
 - ²⁷ Georgia Institute of Technology, Atlanta GA USA
 - ²⁸ CEOAS, Oregon State University, Corvallis, OR, USA
-

所属機関

- ¹ 米国海洋大気庁(NOAA) 太平洋海洋環境研究所 (アメリカ合衆国ワシントン州シアトル)
 - ² ウッズホール海洋研究所 (アメリカ合衆国マサチューセッツ州ウッズホール)
 - ³ IRD-CNES-CNRS-UPS トゥールーズ大学 LEGOS (フランス・トゥールーズ)
 - ⁴ GODAE 海洋サービス (オーストラリア・カンタベリー)
 - ⁵ 米国海洋大気庁(NOAA) 国立環境予測センター、気候予測センター (アメリカ合衆国)
 - ⁶ 気象庁気象研究所 海洋・地球化学研究部 (茨城県つくば市)
 - ⁷ アメリカ大気研究センター(NCAR) (アメリカ合衆国コロラド州ボルダー)
 - ⁸ 気象庁気象研究所 (茨城県つくば市)
 - ⁹ オーストラリア気象局 (オーストラリア・メルボルン)
 - ¹⁰ メリーランド大学 大気海洋科学部 (アメリカ合衆国メリーランド州カレッジパーク)
 - ^{11a} タスマニア大学 ARC 異常気候センター・オブ・エクセレンス (オーストラリア・タスマニア州ホバート)
 - ^{11b} タスマニア大学海洋・南極学研究所 (オーストラリア・タスマニア州ホバート)
 - ¹² 海洋研究開発機構 地球環境変動領域 (神奈川県横須賀市)
 - ¹³ ワシントン大学 大気海洋共同研究施設 (アメリカ合衆国ワシントン州シアトル市)
 - ^{14a} 半乾燥地研究センター (CEAZA) (チリ・コキンボ)
 - ^{14b} 北カトリック大学 海洋科学学部生物学部 (チリ・コキンボ)
 - ^{14c} 海洋島嶼生態系・持続可能管理ミレニアム基盤センター (ESMOI) (チリ・コキンボ)
 - ¹⁵ 国家水路気象庁 (ペルー・リマ)
 - ¹⁶ ペルー地球物理研究所 (ペルー・リマ)
 - ¹⁷ カリフォルニア工科大学 JPL (アメリカ合衆国カリフォルニア州パサデナ市)
 - ¹⁸ モナシュ大学地球大気環境学部 (オーストラリア・クレイトン)
 - ¹⁹ 中国海洋大学物理海洋研究所 (中華人民共和国青島市)
 - ²⁰ カリフォルニア大学サンディエゴ校スクリプス海洋研究所 (アメリカ合衆国カリフォルニア州ラホヤ)
 - ²¹ 米国海洋大気庁(NOAA) 地球流体力学研究所(GFDL) 季節～十年規模変動予測研究部 (アメリカ合衆国ニュージャージー州プリンストン)
 - ²² 国家海洋局(SOA) 第一海洋研究所(FIO) 国家海洋環境予報センター (中華人民共和国青島市)
 - ²³ Mercator-Ocean (フランス・トゥールーズ郡ラモンビル・サン・タニユ)
 - ²⁴ 米国海洋大気庁(NOAA) 海洋観測モニタリング部 (アメリカ合衆国メアリーランド州シルバースプリング)
 - ²⁵ アリゾナ大学 (アメリカ合衆国アリゾナ州ツーソン)
 - ²⁶ 世界気象機関(WMO) 全球気候観測システムおよび全球海洋観測システム (スイス・ジュネーブ)
 - ²⁷ ジョージア工科大学 (アメリカ合衆国ジョージア州アトランタ)
 - ²⁸ オレゴン州立大学 CEOAS (アメリカ合衆国オレゴン州コーヴァリス)
-

Executive Summary

This Second Report of the Tropical Pacific Observing System 2020 Project (TPOS 2020¹) builds on the analysis and conclusions of the First Report, informed by new evidence and/or fresh perspectives on priorities. The report provides further elaboration and refinement of the recommendations and updated or new actions where appropriate, together with additional detail and recommendations in areas not covered in the initial report. Recommendations for a redesigned moored array, that remained fuzzy in the First Report, are now detailed.

This Second Report provides a major revision and more comprehensive update for two of the major foci of TPOS 2020, biogeochemical and ecosystem Backbone observations and the eastern Pacific. The western Pacific was revisited in the TPOS OceanObs'19 community white paper and this report includes an analysis of requirements arising from the complex scale interactions from weather to climate over the western Pacific Ocean. Additional consideration of air-sea fluxes and the planetary boundary layers in the tropical Pacific are also included in this report.

TPOS 2020 sponsors specifically requested further consideration of requirements arising from monsoon and subseasonal timescales; severe storms and any special ocean observing requirements; observations related to Indo-Pacific exchanges; and any requirements emerging from the new class of coupled numerical weather prediction models. This report, supported by the Community White Paper on the TPOS published for OceanObs'19 (Smith et al., 2019; hereafter TPOS OceanObs'19), represents a substantial, but not yet complete, response to this charge.

New Areas of Review

Three new topics are reviewed in this Second Report:

- coupled models for subseasonal to interannual predictions;
- observational requirements for coupled weather and subseasonal timescales; and
- TPOS data flow and access (see later in this Summary).

All three areas were touched on in the First Report but here we provide a deeper review and associated recommendations and actions.

¹ “TPOS” alone refers to the observing system; “TPOS 2020” refers to the project.

報告書概要

熱帯太平洋観測システム 2020 プロジェクト (Tropical Pacific Observing System 2020 Project: TPOS 2020¹) の第二次報告書では、新たな証拠や優先事項に対する新たな観点などを踏まえ、第一次報告書で提示した分析や結論などを見直している。本報告書は、前回の推奨事項の詳細化・精緻化、あるいは推奨事項の更新と新たなアクションの提示、更には第一次報告書では言及していない領域についての新たな詳細や推奨事項の追加、を行っている。第一次報告書では曖昧なままであった再設計した係留系アレイに関する推奨事項についても詳細を詰めている。

第二次報告書では、TPOS 2020 の主な焦点のうち、「生物地球化学・生態系バックボーン観測」及び「東太平洋」の2件について大幅な見直しと包括的な更新を行っている。西太平洋については TPOS OceanObs'19 コミュニティ白書で再検討しており、本報告書では、同海域での気象～気候スケールにわたる複雑なスケール間相互作用がもたらす科学的要求の分析結果を述べている。熱帯太平洋における大気海洋フラックスや大気境界層に関する追加検討結果についても本報告書で記述している。

TPOS 2020 のスポンサーが、特に科学的要求について更なる検討を要求しているのは、以下の項目である：

- シビアストームと特別海洋観測
- インド洋～太平洋間交換に関する観測
- 新たな大気海洋結合数値予報モデル

本報告書は OceanObs'19 用に出版された TPOS のコミュニティ白書 (Smith et al., 2019; 以下 TPOS OceanObs'19 と呼称する) によって支持されているものであり、このような要求に対する実質的 (ただしまだ完全ではない) 対応を表すものである。

新たに検討の対象となったテーマ

第二次報告書では新たに以下の3つのテーマについて検討している：

- 季節内から経年規模での予測に向けた結合モデル
- 気象及び季節内時間スケールでの大気海洋結合現象に対する観測への要求条件
- TPOS データフローとアクセス (本概要に後述)

3つの領域はいずれも第一次報告書にて触れていたが、ここではより詳細な検討とそれに関連する推奨事項および行動を提示する。

¹ 「TPOS」のみは観測システムのことを指し、「TPOS 2020」はプロジェクトのことを指している。

Coupled models for subseasonal to interannual predictions

The review is based on a survey of operational seasonal-to-interannual prediction centers; a US CLIVAR workshop aimed at bridging the knowledge gap between sustained observations and data assimilation for TPOS 2020, including consideration of the models that underlie that process; and the published literature. The First Report noted there is an urgent need to improve the skill, effectiveness and efficacy of the modeling systems that are critical to realizing the impact of an improved TPOS. This report provides further analysis of the main systematic errors but finds that translating that information into model developments to reduce biases has proven difficult and that systematic approaches are not in place. [2.3, 2.4, 2.5]²

We propose building from the experiences of the numerical weather prediction community and the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) to establish such a systematic approach, with a regular cycle of three parallel lines of development: (a) an agreed community-planned set of experiments; (b) studies based on a set of common diagnostics and metrics; and (c) a series of process studies to bridge the observations and modeling communities. [**Action 2.1**; 2.7]

The community survey indicated a cycle of around five years might be workable, with a timetable for planning, commitment, execution and publication, and concluded by an independent assessment of progress. This report concludes that without such a commitment to a systematic process, the seasonal-to-interannual prediction community may never realize its full potential, nor that of TPOS observations. [2.7]

Recommendation 2.1. Establish a systematic and planned cycle of work among the participants in seasonal prediction, including (i) a planned and systematic cycle of experimentation; (ii) a coordinated set of process and/or case studies, and (iii) routine and regular real-time and offline system evaluation. An independent assessment should occur across all elements every five years. [2.7]

We provide two additional recommendations to promote innovative observing system sensitivity experiments and reanalyses to guide the evolution of the observing system.

Recommendation 2.2. Increase support for observing system sensitivity and simulation experiments to identify observations that constrain models most effectively and have high impact on forecasts. Correspondingly, development of infrastructure for exchanging information about data utilization and analysis increments should be supported. [First Report; 3.3.3.2, 6.1.6]

² Unless indicated otherwise, the [] references are to sections in the Second Report.

季節内および経年予測に向けた大気海洋結合モデル

本検討は以下からの調査に基づいている

- ・季節内から経年規模での現業予測センターでの調査
- ・U.S. CLIVAR が開催した TPOS 2020 での持続的な観測とデータ同化の間にある知識ギャップを埋めることを目的としたワークショップ(これらのプロセスの根底を成すモデルの検討を含む)
- ・出版済の文献。

第一次報告書では、TPOS のインパクトを向上させる上で重要なモデリングシステムのスキル、効果、および効率性を改善することが喫緊の課題である点について述べた。本報告書では主な系統誤差についてさらなる分析を提供しているが、同時に、そのような情報を、数値モデル開発におけるバイアスを削減の為の情報に変換することが困難であり、体系的なアプローチが確立されていないことも明らかにしている。[2.3, 2.4, 2.5]²

我々は、数値予報コミュニティや結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP)が得ている経験に基づき、(a)合意済みでコミュニティによって計画された実験のセット、(b)共通の診断と指標のセットに基づいた研究、(c)観測結果とモデリングコミュニティの間を埋める一連のプロセス研究、といった3つの開発ラインを並行実施し、定期的なサイクルとして回す体系的なアプローチの確立を提案する。
[行動2.1; 2.7]

コミュニティにおける調査では、約5年のサイクルで「計画立案」「コミットメント」「実施」「公表」そして「進捗に関する独立評価での締めくくり」といったタイムテーブルが有功ではないかと指摘されている。本報告書では、そのような体系的なプロセスへのコミットメントなしには、季節～経年スケールでの予測を行うコミュニティや TPOS の観測結果を最大限に活かせることはないだろうという結論付けている。
[2.7]

推奨事項 2.1. 季節ごとの予測について、(i) 実験に関する計画策定と体系的なサイクル、(ii) プロセスとケーススタディを連携させたセット、(iii) ルーチンかつ定期的なリアルタイムおよびオフラインでのシステム評価、を含む体系的で計画された作業サイクルを参加者間で確立させること。全ての要素に対して独立した評価を5年毎に実施すべきである。[2.7]

本報告書では、観測システムの進化を導くために、革新的な観測システム感度実験と再解析を促進させることを目的として、推奨事項を2件追加している。

推奨事項 2.2. 最も効果的にモデルに拘束条件を与え予測に大きな影響を与える観測を特定するため、観測システムの感度及びその模擬実験に対する支援を強化すること。これに対応し、データ活用や分析の増分に関する情報交換に向けたインフラの開発も支援すべきである。[第一次報告書; 3.3.3.2, 6.1.6]

² 明確に注記している場合を除き、[]は第二次報告書内の各節を参照している。

Recommendation 2.3. Increase support for the validation and reprocessing of ocean and atmospheric reanalyses; conduct TPOS regional reanalyses and data reprocessing to guide observing system refinement and to enhance the value of TPOS data records. [2.7]

Observational requirements of coupled weather and subseasonal prediction

The science around coupled weather and subseasonal prediction is advancing rapidly and several recent publications have reviewed progress and considered ocean observation needs in a general way. Key processes include heat and water fluxes in and between the atmospheric and oceanic boundary layers. At a general level, the First Report included a trend toward requirements with enhanced spatial resolution and finer temporal resolution, specifically to capture features such as fronts and the diurnal cycle and to avoid aliasing in air-sea flux estimates [First Report; Chapter 3]. The conclusion drawn in this report is that further research is required before we can be more specific or detailed in terms of essential variable spatiotemporal requirements; such research is underway. [**Recommendation 3.3**]

Two process studies are supported, one focused on the eastern edge of the west Pacific warm pool, and the other on equatorial upwelling and mixing.

Observations of sea surface temperature and salinity must be complemented by observations of near-surface winds, ocean surface waves, surface currents and vertical structure in the ocean mixed layer if we are to constrain/initialize processes in models on monthly and shorter timescales. The high temporal resolution of the Tropical Moored Buoy Array (TMA) and the move toward measuring more complete flux variables aligns with such needs and we conclude will almost certainly benefit coupled data assimilation and coupled model development.

The following recommendations would advance these goals:

Recommendation 3.1. Where feasible and practical, promote observing approaches that jointly measure the ocean and marine boundary layers, and air-sea flux variables, principally to support model development, as well as testing and validation of data assimilation methods and systems. [3.3.3.1, 3.3.3.2, 7.2.1.1]

Recommendation 3.2. Encourage and promote process studies that will improve the representation of key processes and allow further testing of the ability for observations to constrain the coupled system; to address biases in observations and models; and to improve CDA observation error estimates. [3.2, 3.3.1, 3.3.2].

The international Subseasonal-to-Seasonal project hindcast and real-time database is supporting research and model development. Studies on initialization of an intraseasonally-varying ocean are being supported, including sensitivity to ocean observation, and provide insight on common errors that need to be addressed. One subproject aims to provide ocean outputs from the forecast models for analysis.

Recommendation 3.3. Promote and engage with the Working Group on Numerical Experimentation-WCRP Subseasonal-to-Seasonal subproject on Ocean Initialization and Configuration. [3.4]

推奨事項 2.3. 海洋および大気の再解析の検証および再処理に対する支援を強化し、観測システムの精緻化を導き TPOS データ記録の価値を高めるために TPOS 地域再解析およびデータ再処理を実施すること。[2.7]

気象～季節内スケールの大気海洋結合現象の予測に対する観測要件

気象～季節内スケールの大気海洋結合原初の予測に関する研究は日進月歩で進化している。近年発表された幾つかのレビュー文献では、それらの進捗を総括した上で、海洋観測全般の必要性を検討している。鍵となるプロセスには、大気及び海洋の境界層内部、及びその両者間における熱・水フラックス交換が含まれる。第一次報告書では、一般論として、より高い空間解像度・より細かい時間解像度を目指し、それによって特に前線や日周期などの特徴を捉え、大気海洋フラックス推定におけるエイリアシングを避ける動向が記載されている[第一次報告書; 第3章]。一方、本報告書においては、必要な観測パラメータの時空間スケールの詳細や特定を行う前に更なる研究が必要であり、また、そのような研究は現在進行中である、と結論づけている。[推奨事項 3.3]

プロセス研究 2 件を支援している。一つは西太平洋暖水プールの東端に関する研究、もう一つは赤道湧昇や混合に関する研究である。

月次かそれよりも短い時間スケールの現象について数値モデルの初期条件や拘束条件を与えるには、海面温度や塩分濃度の観測と同時に、海面付近の風、海面波、海面流、および海洋混合層の垂直構造などの観測が必要である。熱帯係留ブイアレイ (Tropical Moored Buoy Array; TMA) の、高い時間解像度と、より網羅的なフラックスの測定に向けた動きは、そのようなニーズに沿うものであり、結合データ同化や結合モデルの開発に確実に資するものであると結論づけている。

以下の推奨事項はこれらの目標に向けた前進をさせるものである:

推奨事項 3.1. 実現可能かつ現実的な場所において、海洋および大気の境界層と大気海洋間のフラックスを同時に観測するアプローチを促進させること。これによって、主に数値モデルの開発と、データ同化方法やシステムの試験と検証を支援する。[3.3.3.1, 3.3.3.2, 7.2.1.1]

推奨事項 3.2. プロセス研究を推奨・促進させること。それにより、結合モデルにおけるキープロセスの表現の改良や、結合モデルに対して観測データが拘束条件を与える能力の試験、観測やモデルのバイアスの評価、結合同化システムによる観測誤差推定能力の改良、などに資すること。[3.2, 3.3.1, 3.3.2].

国際プロジェクト「季節内から季節規模現象 (S2S)」が提供しているハインドキャストやリアルタイム解析のデータベースは研究と数値モデル開発を支援している。海洋の季節内変動の初期化に関する研究についても、海洋観測に対する感度も含め、支援されており、共通の誤差について知見を提供している。あるサブプロジェクトでは、予報モデルによる海洋関連パラメータの出力を研究向けに提供することを目指している。

推奨事項 3.3. WCRP の S2S (季節内～季節規模現象研究) プロジェクトのサブプロジェクトである「海洋状況の初期化と設定」における数値実験ワーキンググループを奨励し関与すること。[3.4]

Requirements: The First Report Reprised and Extended

Biogeochemical and ecosystem Backbone observations

We report on further refinement of biogeochemical (BGC) and ecosystem observational requirements, including estimates of critical time and space scales, and the implications for the Backbone. Key processes that drive variability in biogeochemistry and ecosystem and thus determine biogeochemical requirements are: (i) the response to long-term climate change; (ii) seasonal to decadal variability of the tropical Pacific biological pump; (iii) seasonal to decadal variability of the tropical Pacific CO₂ flux and implications for the global carbon cycle ; (iv) the upper ocean carbon budget, including carbon export below the mixed layer and sources of anthropogenic carbon for upwelled water; and (v) volume and nutrient fluxes into the Equatorial Undercurrent.

This phenomenological basis permits an analysis of relevant biogeochemical Essential Ocean Variable (EOV) measurements, including for oxygen, nutrients (e.g., nitrate, phosphate and silicate), inorganic carbon, particles, chlorophyll and transient tracers. We considered new analyses of space and time decorrelation scales of some of these variables which may allow characterization of seasonal to interannual variability, including for oxygen minimum zones.

These advances, along with TPOS 2020 pilot projects (Saildrone[®] and BGC-Argo) and further input from the community have led to refinement and extension of the conclusions from the First Report. The main points are:

- Maintain and extend the *p*CO₂ climate record [4.3.1; First Report, Rec. 12; **Action 7.6**]
- Address the broader goals of the Biogeochemical Argo community through 31 BGC-Argo float deployments per year in the 10°N to 10°S band.

Recommendation 4.1. TPOS 2020 recommends a target of 124 BGC-Argo floats with biogeochemical sensors (specifically nitrate, dissolved oxygen, pH, chlorophyll fluorescence, particulate backscatter and downwelling irradiance) for the 10°N-10°S band. [4.3, 4.4]

- Re-institute CTD and bottle sampling on mooring servicing cruises - CTDs should be performed to 1000 m along each TMA line.

Recommendation 4.2. TPOS 2020 recommends CTDs with dissolved oxygen and optical sensors (chlorophyll fluorescence, particulate backscatter, transmissometer) and water samples (at a minimum for chlorophyll and nutrients) should be performed to 1000 m along each TMA line by servicing cruises, at every degree of latitude between 8°N and 8°S and every 0.5° between 2°N and 2°S at a frequency of at least once per year. Twice per year sampling is optimal and could be augmented by GO-SHIP and other ships of opportunity. [4.3.2, 4.4; **Recommendation 7.3**]

- Continued coverage of satellite ocean color and CO₂ observations [4.2.5, 4.3.1, First Report, Rec. 13]
- Develop a coordinated and long-term observation strategy for the low-latitude western boundary current region [4.4, 7.4.5.1; TPOS OceanObs'19]
- Continue pilot studies for technology development to expand autonomous capabilities – especially for Oxygen Minimum Zones [4.3, 9.2.5, 9.2.3]

科学的要求: 第一次報告書の再掲と増補

生物地球化学的および生態系バックボーン観測

ここで報告するのは、生物地球化学的(biogeochemical; BGC)および生態系観測の科学的要求のさらなる精緻化(重要な時間および空間スケールの推定を含む)と、それらのバックボーン観測への実装について報告している。生物地球化学や生態系における変動性を引き起こし、それによって生物地球化学観測の必要項目に影響するキープロセスには次のものが挙げられる:(i)長期気候変動に対する反応、(ii)熱帯太平洋における生物ポンプの季節スケールから十年規模スケールでの変動、(iii)熱帯太平洋におけるCO₂フラックスの季節スケールから十年規模での変動と、全球炭素サイクルとの関連、(iv)海洋混合層内での炭素収支(混合層下端からの排出や湧昇における人為起源炭素の供給源を含む)、そして(v)赤道潜流への流入量や栄養素フラックス。

このような現象上の根拠から、関連する必須海洋変数(Essential Ocean Variable; EOV)(酸素、栄養素(硝酸、リン酸、ケイ酸など)、無機体炭素、粒子、クロロフィル、過渡的トレーサー、等)の解析が可能になる。これらの変数の一部について時空間無相関スケールの解析を新たに行うことで、季節スケールから経年スケールでの変動特性(酸素極小層を含む)の特定が可能となると考えられる。

これらの研究の進展は、TPOS 2020 パイロットプロジェクト(Saildrone®および BGC-Argo)やコミュニティからの更なるインプットなどからもたらされたものであり、第一次報告書からの精緻化と進展をもたらした。要点は以下の通りである:

- pCO₂気候記録の維持と拡大[4.3.1; 第一次報告書, Rec. 12; **行動7.6**]
- 10° Nから10° Sまでの帯域での BGC-Argo フロートの展開(年間31台)による、生物地球化学 Argo コミュニティの広範な目標への対応

推奨事項4.1. TPOS 2020 は、生物地球化学的センサー(具体的には、硝酸、溶存酸素、pH、クロロフィル蛍光光度、粒子後方散乱、下向き放射輝度)を搭載した BGC-Argo フロートを、10° N-10° S 帯域において124基とする目標を推奨する。[4.3, 4.4]

- 係留観測船上でのCTDおよびボトルサンプリングを復活させること。その際、CTDは各TMA観測線に沿って1000mまで実施すべきである。

推奨事項4.2. TPOS 2020 では、CTD観測(溶存酸素、光学センサー(クロロフィル蛍光光度、粒子後方散乱、透過率、の観測を伴う)と採水(最低でもクロロフィルと栄養塩を対象)をブイ作業船によって実施することを推奨する。その際、観測は深度1000mまでとし、実施位置は各TMA観測線に沿った緯度1度毎(8° N~8° S)及び0.5° 毎(2° N~2° S)、実施頻度は少なくとも年1回とすべきである。年2回の観測が最適であり、GO-SHIPやその他の船舶の観測機会も利用可能ではないか。[4.3.2, 4.4; **推奨事項7.3**]

- 衛星による海色およびCO₂観測の継続[4.2.5, 4.3.1, 第一次報告書, Rec. 13]
- 低緯度西岸境界流域における長期連携観測戦略の構築[4.4, 7.4.5.1; TPOS OceanObs'19]
- 自動観測能力の拡張に向けた技術開発の為にパイロット試験の継続(特に酸素極小層を対象)[4.3, 9.2.5, 9.2.3]

- Promote process studies to understand the impact of El Niño and long-term change on carbon export and ecosystems [4.1.1, 4.3, 4.4]

Eastern Pacific observing system

The eastern Pacific region has high societal impact and is among the most problematic for climate modeling, as oceanic processes, low-cloud physics, and tropical deep convection have complex interactions in this region. The sharp property gradients of the eastern Pacific form a key distinction from the rest of the basin and a major challenge to both observing and modeling. The Second Report revisits the phenomenological basis and requirements of the region, including the coastal waveguide, and extends the discussion of atmospheric processes and observations to the extent they are relevant for an integrated approach to the TPOS. We map a course for addressing outstanding science questions through both engagement with regional efforts, as well as pilot and process studies.

The following provide the overarching scientific motivation for an eastern Pacific observing system:

- Monitoring and predicting the El Niño-Southern Oscillation, including the evolution in understanding of tropical instability waves, the influence of tropical Atlantic SST, and the nature and spread of convection in the region;
- Understanding and addressing ocean model biases, including Kelvin wave dissipation processes, systematic errors in the vicinity of upwelling and the equatorial thermocline, and modelling of interaction with coastal upwelling dynamics;
- Understanding atmospheric and coupled model biases through a focused effort to better observe cold tongue and Inter-tropical Convergence Zone dynamics and associated cloud feedbacks, including the atmospheric thermodynamic and dynamic vertical structure; and
- Oxygen minimum zone dynamics and equatorial and coastal upwelling that brings cold nutrient-rich waters toward the surface resulting in phytoplanktonic blooms (see also the biogeochemistry discussion above).

Recommendation 5.1. The existing TMA line along 95°W should be maintained and updated to full-flux sites. [7.3.1]

Recommendation 5.2. Increase Argo density for the eastern Pacific as soon as possible. A coordination of South American countries to execute the doubling of Argo will be required. [***Recommendation 4.1*** and ***Action 7.9***].

TPOS 2020 reaffirms its support for pilot projects to evolve and strengthen observing capability in the region. The equatorial-coastal waveguide and upwelling system (***Action 5.2***) and Inter-tropical Convergence Zone/cold tongue/stratus system (***Action 5.3***) pilot studies are reaffirmed as high priority. A third pilot on atmospheric monitoring from eastern Pacific islands is recommended to test our ability to monitor: (a) vertical profiles of atmospheric winds, temperature and moisture variability; (b) surface conditions in the near-offshore region; and (c) atmospheric vertical structure and cloud radiative forcing in the core stratus deck region (***Action 5.4***).

- 炭素流出および生態系に対するエルニーニョや長期変動の影響を解明するためのプロセス研究の促進[4.1.1, 4.3, 4.4]

東太平洋観測システム

東太平洋は社会的影響が大きく、気候モデリングにおいて最も厄介な海域の1つであり、海洋過程、低層雲の物理、深い熱帯対流が複雑に相互作用している。東太平洋における各種特性のシャープな空間変化は他の海域と比べ独特な特性であり、観測とモデリングの両方において大きな課題となっている。第二次報告書では沿岸の導波路を含む同海域の現象学的根拠や科学的要求を再検討しており、大気過程や観測に関する議論を TPOS の統合的アプローチにとって妥当な程度まで深めている。未解決の科学的問題に応える為の、地域的な取り組みとの連携・パイロット研究・プロセス研究を通じた道のりを、以下に提示する。

東太平洋観測システムの総合的な科学的動機付けは以下の通りである:

- エルニーニョ-南方振動のモニタリングと予測(熱帯不安定波、熱帯大西洋 SST の影響、および同海域内の対流の性質と変動に関する理解の進歩、を含む)
- 海洋モデルのバイアスの理解と対応(ケルビン波の消波過程、湧昇と赤道水温躍層付近での系統誤差、および沿岸の湧昇ダイナミクスとの相互作用のモデリングを含む)
- 大気結合モデルにおけるバイアスに対する理解度の向上(冷舌や熱帯収束帯のダイナミクス、そしてそれらに関連する大気熱力学と動的垂直構造を含めた雲フィードバックをより良く観測するための集中的な取り組みを通じ)
- 酸素極小層の動態や、赤道湧昇・沿岸湧昇(栄養素に富む冷たい水を海面へもたらすことで植物プランクトンの大増殖を発生させる(上記の生物地球化学に関する記述も参照))

推奨事項 5.1. 95° W に沿った既存の TMA 線を維持し、かつ全フラックス観測サイトへとアップデートすべきである。[7.3.1]

推奨事項 5.2. 可能な限り早く東部太平洋の Argo 観測密度を高めること。Argo 観測密度を 2 倍にするためには南アメリカ諸国との連携が必要である。[**推奨事項 4.1** および **行動 7.9**]。

TPOS 2020 は同海域内での観測能力を進化させ強化するパイロットプロジェクトへの支援を再認識する。赤道-沿岸導波路および湧昇システム(**行動 5.2**)や熱帯収束帯/冷舌/層雲システム(**行動 5.3**)のパイロットスタディは、高優先度事項として再認識する。我々のモニタリング能力を確認するため、東太平洋諸島での大気モニタリングに関する 3 つ目のパイロット試験を推奨する。そこでは、(a) 大気の大気、温度、湿度の鉛直プロファイルとその変動、(b) 近海域の海面状態、(c) 低層雲域中央部における大気の大気鉛直構造と雲放射強制力、のモニタリング能力試験を行う。(**行動 5.4**)。

One of the motivations for revisiting the eastern Pacific in this report was to enable and generate greater regional activity. Several opportunities are identified, including (a) enhanced data sharing and cooperation, to include improved transmission and quality of data, using regional mechanisms where appropriate, (b) direct participation in profiling float enhancements, (c) participation in a regional reanalysis project that would better resolve processes and fields relevant to Eastern Pacific stakeholders, and (d) assistance to establish collaborative frameworks so that greater regional value could be obtained from their observing efforts (*Action 5.1*). [5.2]

Recommendation 5.3. A pilot study along 95°W installing dissolved oxygen sensors to 200 m and an ADCP is recommended at the equator, with additional dissolved oxygen and current sensors on 2°N and 2°S if at all possible. [5.1.4]

Recommendation 5.4. TPOS 2020 recommends planning and execution of a reanalysis project for the eastern Pacific, making use of past and current data sets, as well as hydrographic sections between the Galapagos Islands and the coast. This reanalysis effort should include high-resolution regional atmospheric products that resolve important coastal winds, and ensembles for estimating uncertainty. [5.2]

TPOS 2020 strongly encourages stakeholders to advocate for and support an eastern Pacific focus for the United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030), given the benefits will be relatively large for this region (*Action 5.5*).

Tropical Pacific decadal variability and long-term trends

Consultations after the publication of the First Report strongly encouraged TPOS 2020 to revisit the requirements arising from decadal variability, long-term climate trends and the climate record. This report provides a comprehensive update, including a review of historical studies of decadal variability; implications from global climate change and other external-forcing for tropical Pacific climate; and an analysis of modeled and observed past changes in the El Niño-Southern Oscillation and potential future changes. [6.1.2-6.1.5]

Key findings include the need for better observational constraints for estimates of surface heat fluxes, and for improved understanding of the subsurface circulation, thermal structure, and heat budget of the upper ocean along the equator; and the need for sustained reliable observations and reanalyses of both the on- and off-equatorial winds and air-sea fluxes. Long-term sustained monitoring and high-quality reanalyses are highlighted as priorities. [6.1.6] We also discuss the potential role of TPOS for better calibrating and understanding paleo-proxy data records, a topic that should be considered for the coming years.

We stress the challenge of detecting multi-decade signals and the importance of maintaining a reference set of longstanding, continuous climate records, with quantified uncertainties, that can bridge any future changes in the observing system and confirm or refute any shifts that may coincide with the introduction of observing system or data processing changes. Such references must have enough coverage and sufficient quality and reliability to (1) detect and identify small dec-cen signals, (2) enable cross-checks for consistency, and (3) be able mitigate risks from unexpected failures of individual elements. [6.1.6]

本報告書において東太平洋を再検討している理由の一つは、地域的活動の強化を実現していくことである。以下を含む複数の機会が明らかになっている。(a) データ共有と連携の強化(データ送信やデータ品質の向上を含む。適切な場合における地域機構を活用する) (b) 鉛直観測フロートの観測強化に対する直接的な参加 (c) 東太平洋のステークホルダーに関連するプロセスやフィールドをよりよく解像するような地域再解析プロジェクトへの参加 (d) 観測の取り組みからさらに大きな地域レベルでの価値を得られるような共同フレームワークの確立への支援、が挙げられる(行動5.1)。[5.2]

推奨事項5.3. 95° W 線上でのパイロット研究を推奨する。赤道においては、溶存酸素センサーの水深 200m への設置及び ADCP の設置。加えて、可能であれば 2° N と 2° S に溶存酸素と流速センサーの設置。[5.1.4]

推奨事項5.4. TPOS 2020 では、太平洋東部を対象とした再解析プロジェクトの計画立案と実行を推奨する。そこでは、過去や現在のデータセットや、ガラパゴス諸島から沿岸にかけてのハイドログラフィー断面部分を活用する。この再解析の取り組みには、重要な沿岸域の風を解像可能な高解像度の地域大気プロダクトや、不確実性を推定するアンサンブルも含まれるべきである。[5.2]

TPOS 2020 では、ステークホルダーに対し、「持続可能な開発のための海洋科学の 10 年 (United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development; 2021-2030)」への支持・支援を強く推奨する。これは、東太平洋域にとって便益が比較的大きいものである。(行動5.5)。

熱帯太平洋の十年規模での変動性や長期傾向

第一次報告書の出版後、十年規模での変動性や長期気候傾向、気候記録などによって浮かび上がる要件を TPOS 2020 が再検討することが強く勧められた。本報告書は、十年規模変動に関する過去の研究のレビュー、全球気候変動やその他の外的強制による熱帯太平洋の気候への影響との関係、そしてモデル化され観測されてきたエルニーニョ-南方振動の過去の変化や今後考えられる変化の分析など、包括的なアップデートを提供している。[6.1.2-6.1.5]

主な結果は、海面熱フラックスの推定の為の観測的拘束条件の改良の必要性、海面下の循環や熱構造、赤道沿いの表層における熱収支に対する理解の改善の必要性、赤道およびその南北における風や大気海洋間フラックスの持続的かつ安定的な観測および再解析の必要性、などである。長期継続モニタリングや高品質の再解析が優先事項として挙げている。[6.1.6] さらに、今後数年のトピックとして検討すべきパレオプロキシデータ記録の較正や理解の向上において TPOS が果たせる役割についても述べている。

数十年規模のシグナル検知に向けた挑戦と、長期に継続した「基準データ」となりうる気候学的記録を維持することの重要性についても強調する。後者については、今後考えられる観測システムの変更を橋渡ししたり、観測システムやデータ処理方法の変更の導入に際して生じる“ずれ”を明確にすることで、データの不確実性を定量的に明示することが求められる。そのような「基準データ」は十分な観測範囲・品質・信頼性を持ち、以下に用いることができる必要がある。(1) 小さな十年~100 年スケールのシグナルを検出して特定可能であること。(2) 整合性の確認のためにクロスチェック可能であること。(3) 個々の要素の予期せぬ問題によるリスクを軽減できること。[6.1.6]

The Northwestern Pacific Ocean

The TPOS OceanObs'19 Community White Paper provided recommendations for a low-latitude western Pacific boundary current monitoring system, including consideration of the Indonesian Throughflow. This report supplements that work with an analysis of complex interactions over a range of timescales in the northwestern Pacific Ocean, including stochastic forcing of El Niño and involvement in the delayed-action oscillator and discharge-recharge mechanisms.

The boreal summer intraseasonal oscillation, an elemental part of the Asian summer monsoon system, provides one example of potentially predictable signals on subseasonal to seasonal timescales in the northwestern Pacific Ocean, with likely far-reaching impacts (e.g., extreme rainfalls and droughts) of significant societal relevance for the region. The region also hosts the most intensive typhoon/cyclone hot spot according to observations over the last fifty years. Improved understanding may allow typhoon prediction to be extended beyond seven days.

An enhanced observing capability is needed to meet requirements in the northwestern Pacific Ocean arising from these complex scale interactions and their associated links between the tropics and subtropics. These enhancements are proposed as part of the evolution of the Backbone.

Air-sea fluxes and the planetary boundary layers

One purpose of the Backbone is to provide in situ time series for comparisons with satellite-based measurements and validating gridded synthesis products, including for those of wind stress and air-sea heat and water fluxes. The Second Report discusses how the TPOS might better support these goals.

Wind stress

The First Report design takes advantage of the revolution in broadscale wind estimation over the ocean enabled by space-based scatterometers, but combined with and complemented by in situ measurements, particularly from moorings. If space-based vector wind sampling could be increased and better spread across the diurnal cycle, the outlook is for greatly improved wind estimation. However, some questions remained about the differences between wind estimates from moorings and satellites, about errors in blended gridded wind products, and about the best approach to monitoring decadal-scale variability and detecting climate change. An Annex to the Second Report is devoted to these issues and to errors arising from sampling (space and time). Further research is needed to better understand these errors in gridded wind products and the impacts of sampling differences between satellite and buoy winds (***Action 6.1***). There are also outstanding issues around directional dependence of buoy and scatterometer wind differences (***Action 6.3***).

The First Report noted the many different approaches to producing gridded wind products (including uncertainty estimates), ranging from reanalysis products to specialized blended products using wind observations from different scatterometers and in situ data. The effect of surface currents remains an issue. Dedicated analyses have been started (as discussed in Annex A of the Second Report) to better document error sources from both moorings and satellites, to understand their differences, and distinguish the issues of measurement versus sampling errors (***Action 6.2***).

北西太平洋

TPOS OceanObs'19 コミュニティ白書では、西太平洋における低緯度西岸境界流(インドネシア通過流を含む)のモニタリングシステムに関する提言を提供している。本報告書では、エルニーニョにおける確率論的強制、遅延振動子、蓄熱-放熱メカニズムを含む、北西太平洋における様々なタイムスケールでの複雑な相互作用の分析を追記している。

北半球夏季季節内変動は、夏季アジアモンスーンを構成する要素であり、北西太平洋において季節内～季節スケールで予測可能性のあるシグナルの一つである。この現象はこの地域社会に広範に影響するインパクト(豪雨・旱魃等)をもたらす可能性が高い。さらに同地域は、強い台風(サイクロン)のホットスポットであることも過去 50 年間の観測で示されている。現象の理解を深めることで、7 日前よりも早い台風の予測が実現できるかもしれない。

これらの複雑なスケール間相互作用や関連する熱帯～亜熱帯間のリンクから考えられる北西太平洋域での科学的要求を満たすような、強化された観測能力が必要である。これらの強化はバックボーン観測の進化の一部として提案されている。

大気海洋フラックスと惑星境界層

バックボーン観測の目的の一つが、衛星観測や格子化された合成プロダクト(風応力、熱・水フラックス)との比較・検証に用いることができる現場観測時系列データの提供である。第二次報告書では、これらの目的に対して TPOS がどのようにより良い支援を行えるかを述べている。

風応力

第一次報告書は、衛星搭載散乱計により劇的に進歩した広範囲の風測定を、係留系をはじめとする現場観測データと組み合わせて活用するようなデザインを描いている。もし衛星によるベクトル風観測データが増え、日変化を議論できるほどの観測頻度となったら、風の計測は大きく改善されるであろう。しかし、係留系計測と衛星計測との差異、異なる合成プロダクト間の差異、十年規模変動や気候変動の検出方法、について問題が残っている。第二次報告書の補足資料は、これらの問題やサンプリング(空間および時間)誤差に言及している。格子化された風プロダクトにおけるこれらの誤差や、衛星とブイの間のサンプリングの差の影響について理解を深めるために、更なる研究が必要である(行動 6.1)。また、ブイと衛星との差異の風向依存性についての問題も残されている(行動 6.3)。

第一報告書では、格子化風プロダクトの作成方法の多様性(不確実性も含む)について触れている。方法は、再解析プロダクトから、様々な衛星搭載散乱計や現場観測データを合成したプロダクトまで多岐にわたる。表層海流の影響も課題である。係留系と衛星の両方の誤差要素をより詳細に明らかにし、両者の違いを理解し、計測誤差とサンプリング誤差を区別するような解析も始められている(第二次報告書の補足資料 A で記述)(行動 6.2)。

Heat and moisture fluxes

In the First Report, it was noted that the satellite-based estimates of heat and moisture flux variables were either non-existent or subject to large uncertainties. The Second Report revisits this assessment based on recent progress in these efforts.

For radiative fluxes, the report analyses studies that have looked at the bias and standard deviation of satellite derived downwelling shortwave and longwave products with encouraging results. There remain uncertainties that need to be better quantified and understood. The pathways for progress include more in situ radiation data, together with the development of standards that ensure their measurements and processing led to the highest possible quality. They also include the deployment of some highly instrumented Super Sites (section 7.4.7) in selected regions.

Satellite products of turbulent fluxes relying on surface state variables and bulk algorithms have also been continuously improved, even if satellite retrievals of near-surface temperature and humidity need further refinement. Documented errors in these variables have regional and regime dependencies, for example in the vicinity of large-scale atmospheric convergence/ divergence fields and associated cloud properties. In situ data sites within each of these regimes (with meridional extensions) will help improve near-surface temperature and humidity estimates. Additional measurements at “Super Sites” such as in situ directly measured fluxes using direct correlation flux observations and atmospheric boundary layer temperature and humidity profiles would also provide guidance for improving satellite retrievals.

Freshwater fluxes

As in Recommendation 9 from the First Report, increasing the number of in situ rain gauges would provide better statistics for satellite comparisons. The TPOS community should continue discussion with the satellite and in situ precipitation experts to examine to what extent and in what regions increased rain gauge density would be of value, and whether additional measurements (for instance a Super Site with radar) could be incorporated (**Action 6.4**).

Other considerations

The Second Report reaffirms the importance of surface currents for improving surface fluxes; the evaporation rate, and latent and sensible heat fluxes depend on the wind speed relative to the ocean current.

The Second Report confirms the priority placed on the requirement for more extensive measurements of the full suite of flux variables which are currently only made at a few sites on the equator. It also confirms the priority to extend surface sampling across the tropical convergence zones and into the subtropical trade wind regime and other key regimes. [6.5]

The Second Report also reaffirms the increased requirements for mean sea level pressure measurements based on recent sensitivity experiments. Near the equator, where rapid divergence can hinder effective sampling from drifters, sensors on the TMA (5°S – 5°N) could help meet the requirement.

熱・水蒸気フラックス

第一次報告書では、衛星ベースの熱・水蒸気フラックスの推定は存在しないか多大な不確実性を伴っていると言及している。第二次報告書ではこの評価について、最近の研究を踏まえて改めて検討している。

放射熱フラックスにおいては、本報告書では、衛星による下向き短波・長波プロダクトのバイアスは標準偏差を調べた結果、前向きな結果が得られているが、不確実性も残っており、より正確に定量化し理解する必要がある。改善の為には、より多くの現場観測データの取り込みや、現場観測データの高精度を保證する為の標準手順の開発が求められる。これには、一部海域において多種の計測機器を装備した「スーパーサイト」の展開(7.4.7節)も含まれる。

衛星計測による乱流フラックスは、海面近傍の状態変数やバルクアルゴリズムに依存している。これらは継続的に改良されているものの、特に衛星による海面付近の気温及び湿度の計測については更なる精緻化が必要である。過去の研究では、これら変数の誤差は海域やレジームへの依存性がある(例えば大規模な大気の収束/発散場の近傍や関連する雲の特性など)があると指摘されている。それぞれのレジーム内における現場観測(南北方向への拡張を含む)は、海面付近の温度・湿度の推定精度向上に資するであろう。さらに、「スーパーサイト」においては、渦相関法による乱流フラックスの直接観測や、大気境界層内の温度や湿度の鉛直プロファイルの観測により、衛星データによる推定の改良に向けたガイダンスを提供するであろう。

淡水フラックス

第一次報告書の推奨事項 9 にもあったように、現場の雨量計の数を増やすことで衛星データとの比較に向けてより良い統計的結果を提供できるようになる。TPOS コミュニティは衛星や現場での降水量測定 of 専門家との議論を続け、どの程度、そしてどの海域で雨量計観測点密度を上げることが価値が高いのか、また、更なる追加観測(例えばレーダー付きのスーパーサイトなど)と協働できないか、引き続き検討していくべきである(行動6.4)。

その他検討事項

第二次報告書は海面フラックスの改善における表層海流の重要性を再認識した。蒸発率や潜熱および顕熱フラックスは海流に対する相対的な風速に依存している。

第二次報告書では、現在赤道線上にある限られた観測点のみで実現している全フラックス計測をより広範な地点で実施することについて、優先度が高いと認識している。また、熱帯収束帯断面を計測できるように、観測点を亜熱帯貿易風帯や他の重要領域に拡張することも優先度が高いことを確認している。[6.5]

第二次報告書では、最近の数値モデルを用いた感度実験に基づき、海面気圧測定 of 重要性が増していることを再認識している。赤道近くでは、発散によって海面漂流ブイによるサンプリングは効率が低く、TMA 係留系(5° S~5° N)に搭載したセンサーこそが要求に応えるデータとなりうる。

The Backbone Observing System

The Second Report updates, and as necessary modifies, the Backbone observing system recommendations provided in the First Report, taking advantage of recent consultation and feedback, new dedicated studies and technical progress, and results from recent pilot studies. We recap the design and multiple functions of the Backbone and more fully explain some of the reasoning behind the Backbone recommendations where the First Report left uncertainty, or where issues have been raised subsequent to the publication of the initial Report.

In general, the recommendations of the First Report remain valid, with the underlying logic and evidence strengthened by the review. The major changes remain renewal and reconfiguration of the mooring array, and a doubling of Argo sampling in the tropical zone (10°N – 10°S), now including BGC-Argo sensors on 1/6th of the floats.

The reconfiguration of the tropical moored buoy array is now described in greater detail, including tiered parameter suites (7.3.1.1), and a refocused spatial configuration that maintains and enhances the focus on the equator while retaining a grid-like structure for detecting and validating basin-wide decadal and longer-term flux changes (7.3.2; Figure 7.4). The 3 tiers include a widely deployed and enhanced base level (Tier 1), with some that will include rainfall, pressure and mixed layer salinity (*Action 7.1*); a velocity-enhanced mooring that will be deployed at select sites/lines (Tier 2) (*Action 7.2*); and a small number of very highly instrumented “Super Sites” (Tier 3).

Consistent with identified requirements and priorities, the new moored array design focuses on [7.3.1]:

- 1) expanding the sampled surface meteorological regimes through poleward extension of some meridional spines;
- 2) markedly expanding the spatial coverage of variables for heat and water flux estimates, adding short and longwave radiation to Tier 1, and rainfall (*Action 6.4*);
- 3) complementing (2), resolving near surface and mixed layer diurnal variability across the domain (denser vertical resolution of temperature in the upper 50m);
- 4) systematically measuring near surface currents;
- 5) expanding surface barometric pressure measurements;
- 6) better resolving the near equatorial flow field in the central Pacific; and
- 7) sustaining and enhancing $p\text{CO}_2$ measurements.

Recommendation 7.1. TPOS 2020 recommends the adoption of and support for a refocused design for the tropical moored buoy array, with a three-tiered approach to instrumentation. These comprise the Tier 1 baseline with enhanced surface and upper ocean measurements over the existing array; Tier 2 with added velocity observations in the mixed layer; and Tier 3, an intensive Super Site that might be used in a campaign mode. [7.3.1].

The exact location of the moorings poleward of 8°S under the South Pacific Convergence Zone needs to be further explored, in consultation with community experts and regional partners (*Action 7.3*).

バックボーン観測システム

第二次報告書では第一次報告書で示したバックボーン観測システムの推奨事項を更新(または必要に応じ修正)している。これには、近年の議論やフィードバック、新たな関連研究や技術発展、そして最近のパイロットスタディの結果を有効活用している。本報告書では、バックボーン観測のデザインや多様な役目について総括し、バックボーン推奨事項について、第一次報告書で残っていた不確実性、第一次報告書の出版後に浮かび上がった課題、を踏まえ、より詳細な解説をしている。

総合的には、第一次報告書で示した推奨事項は引き続き有効であり、根底にあるロジックや証拠は今回の再検討により強化されている。主な変更点は、引き続き、係留アレイの再生・再設計と、熱帯域(10° N~10° S)におけるArgo観測頻度の倍増(うち1/6のフロートへのBGC-Argoセンサー搭載を含む)である。

熱帯係留系観測網の再設計については、今回、より詳細に記述している。そこには、観測パラメータ組み合わせのカテゴリ化(7.3.1.1)や、赤道上での観測を維持・強化しつつ、海盆スケールの十年規模変動より長期のフラックス変動を検出・検証可能な格子状配置を残した空間配置の再考(7.3.2; 図 7.4)が含まれている。観測パラメータ組み合わせの3カテゴリは、広域展開しつつ観測を強化した(一部では降雨量や気圧、混合層の塩分濃度などを含む)基礎レベルカテゴリ(第1カテゴリ)(**行動7.1**)、特定の観測点や測線に展開する、流速観測を強化した係留(第2カテゴリ)(**行動7.2**)、非常に高度かつ多様なパラメータ計測機能を搭載した少数の「スーパーサイト」(第3カテゴリ)によって構成される。

既に特定されている科学的な要求事項や優先事項を鑑み、新たな係留アレイの設計では以下の事項を重視している[7.3.1]:

- 1) 南北測線の亜熱帯方向への延長による、より多様な海上気象のレジームの観測
- 2) 第1カテゴリのブイへの短波放射・長波放射・降水量の観測追加による、熱・淡水フラックス推定の為のパラメータを観測可能な空間領域の大幅な拡大(**行動6.4**)
- 3) (2)を補完する目的での、空間領域全体における、海面近傍および混合層における日変化の解像(水温測定海面近傍50m層内での高解像度化)
- 4) 海面近傍の海流の体系的な測定
- 5) 海面気圧の測定範囲の拡大
- 6) 赤道中部太平洋における海流の空間構造観測の高解像度化
- 7) $p\text{CO}_2$ 測定の持続と強化

推奨事項7.1. TPOS 2020 は、3種にカテゴリ化した計測を用いて再設計された熱帯係留系アレイを採用・支援すること推奨する。各カテゴリの構成は以下の通り: (1)既存の係留系アレイに海面及び海洋上層の測定を強化した第1カテゴリ(ベースライン)、(2)混合層に流速観測を追加する第2カテゴリ、(3)観測を大幅に強化しスーパーサイト化した第3カテゴリ(集中観測スタイルでの使用も想定)。[7.3.1].

南太平洋収束帯域を対象とする8° S以南の係留系の正確な設置位置については、コミュニティ内の専門家や地域パートナーとの議論を通して更に検討する必要がある(**行動7.3**)。

Tier 2 sites, in consultation with community experts to specify the priority sites (**Action 7.2**), will include an upward looking near-surface ADCP, measuring velocity in the upper 50m. The “Super Site” concept is still in development but will include additional instruments to provide more detailed or specialized information to refine the observing strategy and take advantage of technological advances. [7.4.7]

Full implementation of the TPOS design will deliver many gains, but also raises the potential for losses; such is inevitable in a process of redesign and reprioritization but is nevertheless regrettable, particularly with respect to some historical off-equatorial mooring sites. This is already the case in the western Pacific, although the new design aims to redress and minimize the loss. The gains and losses are described in detail [7.3.2, 10], including mooring coverage (Figure 7.5), rainfall sampling (Figure 7.6), decadal and longer-term wind (Figure 7.7) and latent heat flux (Figure 7.8) changes, and radiation and evaporation regimes (Figure 7.9). Subsurface impacts from changes to Argo and mooring sampling are also presented (Figures 7.10-15). A full summary is included. [7.3.3]

Progress with Implementation

Progress with implementation since the First Report has been very encouraging and TPOS 2020 has achieved significant buy in. We provide a schematic update of the status of the main Backbone Essential Ocean Variables which shows around half are in a satisfactory state (requirements met adequately or better), but for the remainder there is considerable work to do. For wind, and building on Recommendation 1 from the First Report, TPOS 2020 must drive further dialogue with agencies to explore ways to improve data availability and the diurnal spread of sampling by vector wind measuring satellite missions if the TPOS requirements are to be met (**Action 7.4**, 7.4.1, First Report, Rec. 1). For sea surface salinity, the community must continue to highlight the ongoing need and benefits of follow-on satellite missions (**Action 7.5**, First Report Rec. 10). Underway measurements of $p\text{CO}_2$ fall short of requirements and TPOS 2020 must act to establish measurements on all mooring servicing vessels and promote pilots of $p\text{CO}_2$ measurements from autonomous underway vehicles (**Action 7.6**; 4.3.1; First Report, Rec. 12).

The First Report included recommendations and actions to enhance Argo coverage in the TPOS region; the Second Report reaffirms this strategy and priority. Around 20% of that enhancement is in place currently. This report provides further analysis of deployment strategies and stresses the need for greater international participation.

To address requirements in the western and northwest Pacific Ocean, the TPOS 2020 project has convened discussions with key stakeholders. China has outlined plans to contribute moorings and other capability to address these needs, including to track monsoon and typhoon development over the northwestern Pacific Ocean [the so-called Ding “丁” array; 6.2.2, 7.2.1.3]. In-principle support for maintaining the TAO part and the remaining 3 TRITON moorings has been provided by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and the Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), respectively. We reprise and update the incomplete action from the First Report:

- *The TMA sites in the western Pacific within 2°S to 2°N should be maintained or reoccupied.*

These are core sites, and all should be supported.

第2カテゴリの係留系(上向き ADCP により海洋上層 50m の海流観測を実施)は、コミュニティ内の専門家との議論を通して優先すべき観測地点を特定する(行動 7.2)。「スーパーサイト」のコンセプトはまだ開発段階にあるが、技術の発展を活かして追加観測機器を搭載し、観測戦略を洗練させる為の精緻かつ特別な情報を提供する。[7.4.7]

TPOS デザインの完全な実現は、より多くの便益をもたらすが、逆に損失の可能性もある。これは再設計や優先事項の見直しの過程では避けられないことであるが、特に観測が継続されてきた高緯度側の係留地点の一部を失うことは遺憾である。これは既に西太平洋については現実のものとなっているが、新たなデザインはこのような状況を是正し損失を最小限に食い止めようとしている。便益や損失については詳細に記述しており[7.3.2, 10]、そこには、係留系の観測範囲(図 7.5)、降水量サンプリング(図 7.6)、十年規模またはそれより長期の風変動(図 7.7)、潜熱フラックスの変化(図 7.8)、放射・蒸発のレジーム(図 7.9)、などが含まれている。また、Argo や係留サンプリングの変更による海面下観測への影響についても提示している(図 7.10-15)。報告書では概要の完全版を提供している。[7.3.3]

実施状況の進捗

第一次報告書以降の進捗状況は非常に良好であり、TPOS 2020 は多大な成果を実現している。本報告書では、主なバックボーン必須海洋変数(EOV)の状況についてアップデートの概略を提供しているが、半数近くが十分な状態にある(要件を十分満たしているかそれ以上である)一方で、それ以外についてはすべきことが多く残っている。風に関する TPOS の要件を満たすためには、第一次報告書の推奨事項 1 に引き続き、TPOS 2020 は各機関との対話を進め、ベクトル風測定衛星ミッションによるデータ取得率や日周変動に対するサンプリングを改善する方法を模索しなくてはならない(行動 7.4, 7.4.1, 第一次報告書 Rec. 1)。海面塩分については、後継衛星ミッションに対する現在のニーズや便益についてコミュニティが強調し続ける必要がある(行動 7.5, 第一次報告書 Rec. 10)。pCO₂の航走観測は科学的要求を満たしておらず、TPOS 2020 は、全ての係留観測船による観測の確立と、自律型船舶による pCO₂測定のパイロット研究の促進に向け行動しなくてはならない(行動 7.6; 4.3.1; 第一次報告書 Rec. 12)。

第一次報告書には TPOS 海域における Argo の観測範囲を強化するための推奨事項や行動が含まれていた。第二次報告書でもこの戦略と優先度を再確認している。この観測強化のうち約 20%は現在実行済である。本報告書では展開戦略についての更なる分析結果を報告し、更なる国際的な参画の必要性について強調している。

西太平洋および北西太平洋での科学的要求に対応するため、TPOS 2020 プロジェクトは主要なステークホルダーと議論を行っている。中国はこれらのニーズに対応する為に係留系などの観測能力で貢献する計画を立てており、そこには、「丁(Ding)」アレイと呼ばれる観測網を用いた北西太平洋でのモンスーンや台風監視も含まれる[6.2.2, 7.2.1.3]。アメリカ海洋大気庁(NOAA)と海洋研究開発機構(JAMSTEC)も原則としてそれぞれ TAO 部分の維持と残り 3 地点の TRITON 係留系の維持に向けたサポートを続けている。ここでは第一次報告書で不足していたアクションについて触れ、見直しを行っている。

- 西部太平洋の 2° S ~ 2° N の範囲の TMA 観測点は維持または観測再開すべきである。

これらは核となる観測点であり、全ての地点がサポートされるべきである。

The Second Report outlines a staged implementation approach [7.4.4; Figure 7.19; TPOS OceanObs'19], with ongoing assessment through to full maturity. Many elements will evolve with global implementation, but with recognition of and advocacy from the TPOS community. Others will require specific actions from the TPOS community, and these are discussed in more detail in the report. The actions, including reconfiguration of the moored array, will need to be carefully coordinated since no single player is able to respond to all requirements. Resource limitations are inevitable but through a cooperative implementation strategy and plan, the TPOS community can jointly meet most requirements and together enjoy the benefits of the whole TPOS.

Several specific actions are highlighted:

- In preparation for TMA-wide usage, Tier 1 ‘full flux’ moorings from all contributing operators should be piloted, intercompared and assessed, and agreement reached on where salinity, rainfall, and barometric pressure are most needed in addition to the core measurements. Instrument calibration and quality control procedures should be further developed, agreed and documented. [**Action 7.7**]
- A pilot of enhanced thermocline velocity measurements at established sites at 140 °W, 2 °N/S should be planned, and if successful, extended to include the new sites at 1°N/S. [**Action 7.8**]
- Argo float deployments should be doubled over the entire tropical region 10°S-10°N, starting immediately in the western Pacific, followed by the eastern Pacific and extending to the entire region, building to a total annual deployment rate of 170/year. Of these, 31 should be equipped with biogeochemical sensors. [**Action 7.9; Recommendation 4.1**]
- TPOS 2020 should develop and detail whole-of-system assessment activities, describing them in the final TPOS report (or earlier). Part of the assessment should include examining the tradeoffs between the number of sites versus the ability to maintain continuous records. [**Action 7.10**]
- For each specialized data stream or platform, ensure the creation of an engaged team of experts to oversee sensor management, develop quality control (QC) procedures and guide the delayed-mode QC for the TPOS data streams. [**Action 7.11; Recommendation 8.3**]

The draft schedule attempts to synchronise actions and harmonise actions and assessments, but this will need to be revisited regularly.

TPOS needs to be proactive to ensure the climate record and our ability to detect change is at least maintained, if not enhanced.

Recommendation 7.2. To ensure that the TPOS observing platforms collect the accurate and interoperable measurements required to detect small [climate or “dec-cen”] signals, a series of actions should be taken, beginning before the rollout and continuing during implementation, to assess the performance and impact of the proposed platform/sensor changes. [7.2.1.2, 7.4.4]

Updates are provided for all Pilot Studies and Process Studies proposed in the First Report [7.4.5, 7.4.6; Figure 7.20].

第二次報告書では、段階的な実行計画[7.4.4; 図 7.19; TPOS OceanObs'19]と、並行して完成まで継続的な評価の実施を提案している。それを構成する多くの要素は、全世界的な取り組みにより今後進展するであろうし、TPOS コミュニティもこれを認識・支持している。他方、TPOS コミュニティによる更なる具体的な行動が求められる要素も存在し、それらは本報告書内で詳しく述べている。どのプレーヤーも単独では全ての科学的要求に対応できないため、係留アレイの再デザインを含む諸行動は慎重な連携が必要である。リソースの制約は避けられないが、協力的な実施戦略と実施計画を通じ、TPOS コミュニティは共同でほとんどの科学的要件を満たし、TPOS 全体の利益を受けるであろう。

強調すべき具体的な行動は次の通りである:

- TMA 全領域で活用に向けた準備として、第 1 カテゴリの「全フラックス計測」係留系を提供する全ての関係機関は、先行試験・相互比較・評価を行うべきである。そして、核となる観測項目に加え、どの領域で塩分、降水量、気圧のデータが最も必要なのか、合意に至るべきである。計測機器の校正やデータ品質管理手順はさらに充実させ、内容について合意し、文書化しておくべきである。[**行動 7.7**]
- 140° W の 2° N 及び 2° S で既に継続中の観測点において、水温躍層での流速測定強化に関するパイロット試験を計画し、それが成功すれば、新たに 1° N 及び 1° S で観測地点に拡張すべきである。[**行動 7.8**]
- Argo フロートの展開は 10° S-10° N の熱帯域全体において倍増すべきである。これは西太平洋ですぐでも開始すべきであり、続いて東太平洋、更に太平洋全体へと拡大することで、年間総展開数を 170 台/年にまで高めるべきである。また、これらのうち、31 基には生物地球化学センサーを搭載すべきである。[**行動 7.9; 推奨事項 4.1**]
- TPOS 2020 は観測システム全体の評価を開発・精緻化し、TPOS 最終報告書(またはそれ以前)に記述すべきである。この評価には、観測地点数と、観測データの継続維持能力とのトレードオフの検討が含まれるべきである。[**行動 7.10**]
- それぞれの専用データ流通システムやプラットフォームに対し、専門家によるチームを結成し、センサー管理の統括、品質管理 (quality control; QC) 手順の開発、そして TPOS データストリームの為の遅延モード QC の指導、を行わせること。[**行動 7.11; 推奨事項 8.3**]

スケジュールの原案では、それぞれのアクションを同期させることと、アクションと評価を調和させることを試みているが、これは定期的に再検討する必要がある。

TPOS は、率先して気候学的記録やその変化の検出能力を担保する必要がある。これは、例え強化されない場合でも、少なくとも現状の維持が必要である。

推奨事項 7.2. プラットフォームやセンサーの変更提案がなされた際には、TPOS 観測プラットフォームとして、微小なシグナル[気候学的、若しくは、十年～百年スケール変動]を検知するために必要な、高精度かつ相互利用可能な測定値が収集できることを担保するために、変更前及び変更中にその能力や変更の影響を評価する為の一連のアクションを起こすべきである。[7.2.1.2, 7.4.4]

第一次報告書で提案されている全てのパイロット研究やプロセス研究については、アップデートを記述している[7.4.5, 7.4.6; 図 7.20]。

The concept of a Super Site is to provide multi-year specialized and more comprehensive data sets, using a larger and/or more complex suite of measurements than the Backbone observing system offers. TPOS 2020 should further develop and articulate the concept, including possible approaches to determination of appropriate times, locations, and measurements. [**Action 7.12**]

Several additional actions and recommendations flow from the review of the First Report.

For sea surface temperature, Recommendation 3 from the First Report remains valid but additional emphasis is needed on the mix of observations and processing needed to properly resolve the diurnal cycle, incorporating remote microwave measurements, visible–near infrared sensing data, and in situ data at various depths near the surface. [First Report Rec. 3; **Action 7.13**; 7.5.1]

The First Report recommendation for sea surface salinity might be misleading, and so has been updated:

Updated First Report Recommendation 10: *Continuity of complementary satellite and in situ SSS measurement networks, with a focus on improved satellite accuracy to augment the spatial and temporal sampling of SSS.*

Further progress has been made in relation to the First Report recommendation on surface currents (Recommendation 11). Two missions are now in the planning phase which are, in the view of TPOS 2020, potential game-changers with direct measurements of total surface currents, a requirement that has been highlighted with respect to surface wind stress and surface fluxes. [7.5, 9.3.1]

The importance of other in situ capabilities, while recognized in the First Report (Recommendation 21), was not sufficiently highlighted. Thus, a new recommendation from TPOS 2020 is:

Recommendation 7.3. Improvement of dedicated capacities on servicing ships to allow repeated ancillary measurements. Underway measurements such as Shipboard Acoustic Doppler Current Profiler measurements, $p\text{CO}_2$ and sea surface salinity should be systematically acquired. [7.5; **Recommendation 4.2**]

TPOS 2020 continues to advocate for Pilot and Process Studies that will contribute to the refinement and evolution of the TPOS Backbone. [First Report, Action 14]

Additional Areas of Review

TPOS data flow and access

The Second Report proposes that data management should be considered alongside observations in the requirement determination process and that the architecture of our data systems requires greater clarity. We continue to advocate for the necessary investment:

Recommendation 8.1. As an underlying principle, around 10% of the investment in the TPOS should be directed towards data and information management, including for emerging and prototype technologies. [First Report, 8.1, 8.2]

「スーパーサイト」は、バックボーン観測システムと比べて大規模または精緻な測定機器などを用いて、複数年にまたがる特別かつ包括的なデータセットを提供することをコンセプトとしている。TPOS 2020 は、適切な時間・場所・測定内容を決定する為のアプローチを含め、コンセプトをさらに発展させ明確化させるべきである。[行動7.12]

幾つかの追加のアクションや推奨事項は、第一次報告書を引き継ぎ発展させている。

海面温度については、第一次報告書の推奨事項3は引き続き妥当であるものの、日周期を適切に解像するために、観測とデータ処理の統合が強調されるべきである。その為には、衛星搭載マイクロ波放射計、衛星からの可視・近赤外観測、および、現場観測データによる海面付近の様々な水深での計測データを統合すべきである。[第一次報告書 Rec. 3; 行動7.13; 7.5.1]

第一次報告書の海面の塩分濃度に関する推奨事項は誤解を招いている恐れがあったため、次の通り更新した:

第一次報告書推奨事項 10 (更新版): 海面塩分 (SSS) の空間的・時間的サンプリングを拡張する為の衛星計測精度の向上に注目した、衛星観測と現場観測による相補的な SSS 測定ネットワークの継続。

表層海流に関する第一次報告書の推奨事項 (推奨事項 11) に関しては、さらなる進捗が見られている。2 件のミッションが現在計画段階にある。これらによる表層海流の直接測定は、TPOS 2020 の見地からは、海面風応力や海面フラックスの観点から科学的要求が高く、革命的となる可能性を秘めている。[7.5, 9.3.1]

その他の現場観測能力の重要性は第一次報告書でも認識されていたものの (推奨事項 21)、十分に強調されていなかった。そのため、TPOS 2020 による推奨事項を次の通り新たに加える:

推奨事項 7.3 ブイ作業船による追加測定の実施能力を向上させ、繰り返し観測を実施可能とさせる。航走中に実施可能な船用 ADCP (超音波流向流速計)、 $p\text{CO}_2$ 、海面塩分などの観測は、体系的に実施すべきである。[7.5; 推奨事項 4.2]

TPOS 2020 は、TPOS バックボーンの精緻化と進化に寄与するパイロット研究やプロセス研究を引き続き支持する。[First Report, Action 14]

追加検討項目

TPOS データの流通とアクセス

第二次報告書では、データ管理と観測とは、科学的要求の特定の際に平行して検討すべきであり、データシステムの構成をより明瞭にするべきである、と提案している。また、必要な投資を継続することを支持する。

推奨事項 8.1. 根本的な原則として、TPOS における投資額の 10%程度は、データおよび情報管理 (先端技術やプロトタイプ段階の技術を含む) に向けて行われるべきである。[第一次報告書、8.1, 8.2]

This report concludes a distributed approach to data systems promotes agility and efficiency, particularly if the distributed services are built upon commonly used standards and conventions. This report outlines a generalized system that takes advantage of other developments in this area. An important benefit is that the scientists and/or data providers are abstracted from the need to understand the formats required for real-time distribution. The ultimate aim is to have a virtual one-stop set of web services for all TPOS data, suitable for research, production, services, public and privately funded activities or other ad hoc use. [8.3]

This report identifies two other areas where TPOS should be proactive. First, the likely introduction of new partners, particularly for the tropical moored buoys, and new technologies, argues for a TPOS data management plan, initially spanning all TMA contributions and data modes. The second area is around delayed-mode data, data archeology, re-processing and re-analysis. Re-processing for reanalysis is now mainstreamed, to take advantage of knowledge that was not available in real-time, and/or to exploit improved techniques. One foci for TPOS 2020 is the western Pacific where there is a large cache of data that is for now "lost" to the wider scientific community, and likely to be "found" only through a major international collaborative effort (*Action 8.1*) aimed at retrieving and re-processing such data into a form that is FAIR (findable, accessible, interoperable, reusable).

Recommendation 8.2. Data stewardship and the engagement of all TPOS 2020 stakeholders in data management must be a central platform in the sustainability of the TPOS. The FAIR Principles should be adopted as a basis for TPOS engagement. [8.4]

Recommendation 8.3. TPOS 2020 should develop a project around the management of all TMA data including, to the extent possible, recovery and re-processing of other relevant mooring data. [8.4]

TPOS 2020 supports the global community in its endeavor to establish global information and management systems that will provide cost-effective ways to increase and improve accessibility, interoperability, visibility, utility and reliability; endeavors that will benefit TPOS data, for current TPOS stakeholders and beyond.

Recommendation 8.4. TPOS 2020 should develop a pilot project, in conjunction with the WMO Information System effort, to explore the global distribution of TPOS data in near-real time. [8.5]

本報告書では、データシステムについて、分散型のアプローチを採用すること(特に一般的に用いられている基準や規則の上に構築されること)により、即応性や効率が促進できると結論づけている。また、本報告書では、この分野における他の発展事項も有効活用するような汎用システムの概要を示している。リアルタイムでの配布において求められるデータ形式を科学者やデータ提供者が理解する必要性を省いている点は重要なメリットである。最終的な目標は、研究・産業・サービス・公的または民間出資による諸活動・その他のアドホックな利用に適した、全ての TPOS データを仮想的にワンストップで扱えるウェブサービスを用意することである。[8.3]

本報告書では、TPOS が積極的になるべきである領域をもう2つ明確にしている。まず、実現する可能性が高い新規パートナー(特に熱帯係留ブイが対象)の参加や新規技術の導入により、TPOS データ管理計画の立案が促されている。これは、当初は全ての TMA 寄与やデータモードを対象としたものである。2 つめは、遅延モードデータ、データマイニング(データレスキュー)、再処理、再解析といった分野に関するものである。再解析に向けた再処理は大きな流れであり、リアルタイムでは入手できなかった情報の有効活用や、進歩した技術の利用が行われている。TPOS 2020 の焦点の1つである西太平洋は、量のデータが科学コミュニティにとって現在「失われて」おり、(FAIR³原則に沿った取得と再処理を目指す)国際共同取組(行動8.1)によってのみ「発見」ことができると考えられている。

推奨事項 8.2. データの管理手順や規約(TPOS 2020 の全てのステークホルダーのデータ管理におけるもの)は、TPOS の持続可能性の中核をなすプラットフォームでなくてはならない。TPOS の規約の基盤として FAIR 原則を採用すべきである。[8.4]

推奨事項 8.3. TPOS 2020 は、全ての TMA データの管理を中心に据えたプロジェクトを策定すべきである。そこでは、可能な範囲で、その他の関連する係留データの回復および再処理を含む。[8.4]

TPOS 2020 はアクセス可能性、相互運用性、視認性、効用性、信頼性などの向上や改善を費用対効果の高い形で実現するグローバル情報・管理システムの確立に向けた取り組みを行うグローバルコミュニティを支援している。そのような取り組みは現在および今後の TPOS のステークホルダーに対して TPOS データによる利益をもたらすものである。

推奨事項 8.4. TPOS 2020 では、WMO 情報システムの取り組みと併せて、準リアルタイムで TPOS データを世界的に配信するためのパイロットプロジェクトを立ち上げるべきである。[8.5]

³ Findable, Accessible, Interoperable, Reusable の頭文字を取った略語。

Emerging technologies

This report discusses the current state of a selection of emerging technologies that are of potential future relevance to TPOS and introduces an evaluation mechanism to assess readiness and guide integration of new observation techniques/platforms into the Backbone. The discussion includes:

1. NOAA Saildrone^{®3} experiments;
2. Wave Glider[®] experiments;
3. PRAWLER profiler;
4. Ocean gliders;
5. Biogeochemistry, biology, and ecosystems technology;
6. Water isotope observations - applications and technology;
7. Remote sensing of ocean surface currents;
8. Global Navigation Satellite System radio occultations;
9. Microwave and infrared-laser occultations; and
10. Global Navigation Satellite System scatterometry.

Technological innovations were also discussed in the First Report and elsewhere in this report.

The proposed evaluation framework is an adaptation of that given in the Framework for Ocean Observing, simplified and adjusted for application to potential Backbone contributions (a Backbone readiness level). Preliminary assessments are provided for the emerging technologies discussed in the report, together with an assessment of the Technical Readiness Level.

The report acknowledges that further work is required to ensure the framework can be applied in a consistent manner (e.g., improved documentation) and to determine whether it will meet stakeholder/TPOS sponsor needs. The assessments also need to be extended to cover other potential technologies (***Action 9.1***).

The report emphasizes that such a framework only provides guidance, and decisions on adoption of new techniques and technology will need to consider other factors, such as roadblocks to/assistance for user uptake, availability of suitable data management facilities, and of course cost and effectiveness. Likewise, the relative impact of potential technologies must factor in actual and prospective model and assimilation sensitivity.

Recommendation 9.1. That the Backbone Readiness Level framework be further developed and refined by TPOS 2020 before adoption. [9.4]

³ Saildrone and Wave Glider are trademark names; hereafter referred to without ®

先端技術

本報告書では TPOS にとって今後有用となる可能性がある一部の先端技術の現状について議論し、準備状況を評価するメカニズムを導入するとともに、新規観測技術やプラットフォームをバックボーンに統合していく上での指針を示す。検討対象には以下の内容が挙げられる:

1. NOAA Saildrone⁴試験
2. Wave Glider[®]試験
3. PRAWLER プロファイラー
4. 海洋グライダー
5. 生物地球化学、生物学、および生態系技術
6. 水同位体の観測 - 応用と技術
7. 表層海流のリモートセンシング
8. 全球衛星測位システム (GNSS) の電波掩蔽観測
9. マイクロ波と赤外レーザー掩蔽観測
10. 全球衛星測位システム (GNSS) の散乱観測

技術的なイノベーションについては第一次報告書および本報告書の別箇所にも述べている。

提案している評価フレームワークは Framework for Ocean Observing において与えられているものを適応し簡素化させたもので、バックボーンによる寄与の可能性に向けて適応している(バックボーン準備度)。本報告書で検討している先端技術については、技術成熟度の評価と併せて事前評価を行っている。

本報告書では、フレームワークを一貫して適用できることを担保し、利害関係者や TPOS スポンサーのニーズを満たすものであるかどうかを判断するためにはさらなる作業(文書化の改善など)が必要であることを認識している。また、これらの評価を他の潜在的な技術に対しても行う必要もある(行動9.1)。

本報告書では、そのようなフレームワークが指針を提供しているに留まり、新規技法や技術の採用についてはユーザー間での普及における障壁や支援、適切なデータ管理施設の可用性、そしてもちろんコストや効果などといった他の要因も考慮する必要があることを強調している。同様に、潜在的な技術による相対的な影響は実際および予測モデルと同化に対する感度なども考慮しなくてはならない。

推奨事項9.1. 採用前にバックボーン準備度フレームワークを TPOS 2020 がさらに開発し洗練させること。[9.4]

⁴ Saildrone と Wave Glider は商標名である。以降、®なしで名称を記述している。

Next Steps

The work of implementing the new observing system for the next decades is just gaining momentum. Although the TPOS 2020 project will finish at the end of that year with a final report, much of the implementation of the changes proposed here will just be getting under way. We note the need for additional investment in order to move from where TPOS is today toward the full implementation of this plan [10]. Results of piloting new technology discussed in Chapter 9, and the process studies in Chapters 2 and 3 and in 7.4.6, will become clear over the next few years; these will need evaluation to determine their lessons and readiness for the Backbone.

The actions and recommendations of this report already point to substantive issues that will need to be included in the Final Report. More will emerge as TPOS 2020 stakeholders and the TPOS 2020 Resource Forum consider the implications from this report.

As the system evolves, maintenance of the climate record will be an essential consideration. Coordination of the interlocking networks will require regular consultation among the implementing partners.

For all these reasons, the need for appropriate governance, and for scientific advice, will continue past this project's sunset; the mechanisms for these are under discussion with our sponsors (TPOS OceanObs'19) and among the international organizations that set the framework for observing systems such as the TPOS (*Action 10.1*).

今後のステップ

次の数十年間を見据えた新規観測システムの導入作業は勢いを得始めたばかりである。TPOS 2020 プロジェクトは 2020 年末に最終報告書をもってして終了するが、その時、ここで提案している変更点の実装の大半がちょうど始まりつつある段階となる。現在の TPOS から本計画の本格的な実施に向けて移行するうえでは、追加の投資が必要であることを本報告書では強調した[10]。第9章で述べた新規技術のパイロット試験や、第2章、第3章、7.4.6節で触れたプロセス研究の結果は次の数年間にわたって明らかになり、それらから得られる教訓やバックボーン実装に向けた準備段階を特定するためにも評価が必要となる。

本報告書に記載したアクションや推奨事項は、最終報告書に含める必要がある実質的な課題を既に指摘している。TPOS 2020 のステークホルダーや TPOS 2020 Resource Forum が本報告書で述べている意味合いについて検討していくにつれてさらに多くの課題も浮かび上がるだろう。

システムが進化するにつれて、気候学的記録の維持も必須の検討事項となるだろう。結合したネットワークにおける連携の為には、それを実行するパートナー同士の定期的な協議が必要となるだろう。

これらのすべての理由により、適切なガバナンスや科学的な助言の必要性は本プロジェクトの終了後も続くであろう。この為のメカニズムについてはスポンサーと共に議論中であり(TPOS OceanObs'19)、かつ、TPOS などの観測システムの枠組みを決定している国際組織間においても協議中である(行動10.1)。