

# Final Report

## 2021

Executive Summary

Korean Translation

# Final Report of TPOS 2020

August 2021

**Coordinating Lead Authors:** William S. Kessler<sup>1</sup>, Sophie Cravatte<sup>2</sup>

**Lead Authors:** Peter G. Strutton<sup>3</sup>, Adrienne J. Sutton<sup>1</sup>, Arun Kumar<sup>4</sup>, Yuhei Takaya<sup>5</sup>, Harry Hendon<sup>6</sup>, Kevin O'Brien<sup>7,1</sup>, Neville Smith<sup>8</sup>, Susan E. Wijffels<sup>9</sup>, Janet Sprintall<sup>10</sup>, Andrew T. Wittenberg<sup>11</sup>, Kentaro Ando<sup>12</sup>, Katherine Hill<sup>13</sup>, William Large<sup>14</sup>, David Legler<sup>15</sup>, Kathy Tedesco<sup>15</sup>, Sandy Lucas<sup>16</sup>

**Contributors:** Olaf Duteil<sup>17</sup>, Yassir A. Eddebar<sup>10</sup>, Boris Dewitte<sup>18</sup>, Yolande Serra<sup>7</sup>, Stephen G. Penny<sup>19</sup>, Kenneth Connell<sup>1</sup>, Dean Roemmich<sup>10</sup>, Tong Lee<sup>20</sup>, Carol Anne Clayson<sup>9</sup>, Shayne McGregor<sup>21</sup>, Meghan F. Cronin<sup>1</sup>, J. Thomas Farrar<sup>9</sup>, Jessica Masich<sup>7,1</sup>, Karen Grissom<sup>22</sup>, Etienne Charpentier<sup>23</sup>, Cheyenne Stienbarger<sup>15</sup>, Brittany Croll<sup>15</sup>, Feng Zhou<sup>24</sup>, Dake Chen<sup>24</sup>, Fei Chai<sup>24,25</sup>, Xiaohui Xie<sup>24</sup>, Weidong Yu<sup>26</sup>, Iwao Ueki<sup>12</sup>, Tatsuya Fukuda<sup>12</sup>, Makito Yokota<sup>12</sup>, Yasuhisa Ishihara<sup>12</sup>, Sarah Purkey<sup>10</sup>, Stephen Riser<sup>27</sup>, James Edson<sup>9</sup>, Masaki Katsumata<sup>12</sup>, Akira Nagano<sup>12</sup>, Kunio Yoneyama<sup>12</sup>, Dongxiao Zhang<sup>7,1</sup>, Aneesh Subramanian<sup>28</sup>

See Appendix D for the complete list of authors, contributors and reviewers. Affiliations for authors listed above appear on the next page.

This report is GOOS-268, PMEL contribution number 5219 and CICOES contribution number 2021-1128.

This translation was provided courtesy of Dongchull Jeon, Jae Hak Lee and Young-Gyu Park.

Please use the following citation for the full report:

Kessler, W.S., S. Cravatte and Lead Authors, 2021: Final Report of TPOS 2020. GOOS-268, 83 pp. [Available online at <https://tropicalpacific.org/tpos2020-project-archive/reports/>]

## Affiliations

- <sup>1</sup> Pacific Marine Environmental Laboratory, NOAA, Seattle, WA, USA
  - <sup>2</sup> LEGOS, Université de Toulouse, IRD, CNES, CNRS, UPS, Toulouse, France
  - <sup>3</sup> Institute for Marine and Antarctic Studies, University of Tasmania, Hobart, Tasmania, Australia
  - <sup>4</sup> Climate Prediction Center, National Centers for Environmental Prediction, NOAA, USA
  - <sup>5</sup> Department of Atmosphere, Ocean, and Earth System Modeling Research, Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, Tsukuba, Japan
  - <sup>6</sup> Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia
  - <sup>7</sup> The Cooperative Institute for Climate, Ocean, and Ecosystem Studies, University of Washington, Seattle, WA, USA
  - <sup>8</sup> GODAE Ocean Services, Canterbury, Australia
  - <sup>9</sup> Department of Physical Oceanography, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA, USA
  - <sup>10</sup> Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego, La Jolla, CA, USA
  - <sup>11</sup> Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA, Princeton, NJ, USA
  - <sup>12</sup> JAMSTEC, Research Institute for Global Change, Yokosuka, Japan
  - <sup>13</sup> National Oceanography Centre, Southampton, United Kingdom
  - <sup>14</sup> National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder, CO, USA
  - <sup>15</sup> Global Ocean Monitoring and Observing Program, NOAA, Silver Spring, MD, USA
  - <sup>16</sup> Earth System Science and Modeling Division, Climate Program Office, NOAA, Silver Spring, MD, USA
  - <sup>17</sup> GEOMAR - Helmholtz Centre for Ocean Research
  - <sup>18a</sup> Centro de Estudios Avanzado en Zonas Áridas (CEAZA), Coquimbo, Chile
  - <sup>18b</sup> Departamento de Biología, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile
  - <sup>18c</sup> Millennium Nucleus for Ecology and Sustainable Management of Oceanic Islands (ESMOI), Coquimbo, Chile
  - <sup>19a</sup> Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (CIRES), University of Colorado Boulder, USA
  - <sup>19b</sup> Physical Sciences Laboratory, NOAA, Boulder, CO, USA
  - <sup>20</sup> JPL, California Institute of Technology, Pasadena, CA, USA
  - <sup>21</sup> School of Earth Atmosphere & Environment, Monash University, Clayton, Australia
  - <sup>22</sup> National Data Buoy Center, NOAA, Stennis Space Center, MS, USA
  - <sup>23</sup> World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland
  - <sup>24</sup> Second Institute of Oceanography, MNR/SOA, China
  - <sup>25</sup> University of Maine, Orono, ME, USA
  - <sup>26</sup> Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Guangdong, China
  - <sup>27</sup> School of Oceanography, University of Washington, Seattle, WA, USA
  - <sup>28</sup> University of Colorado Boulder, Boulder, CO, USA
-

## 개 요

‘TPOS 2020 프로젝트’는 ‘열대태평양관측시스템 (TPOS)’을 확장하고 재설계하기 위하여 한 세대에 한 번 뿐인 기회이다. 기존의 ‘TAO-TRITON 계류관측망’이 2012-2014년 사이 맞이한 (계류관측자료 수신률의 급격한 저하) 위기에 대응하여 시작된 노력에는 열대태평양 변동성의 전지구적 영향과 연구 및 예측을 지원하기 위한 적절한 관측의 필요성을 반영하여 세계 각국의 기관과 이해당사자, 연구자가 포함되었다.

TPOS 2020은 현재 여기저기 산재된, 가용한 원격 및 현장기술의 잇점을 모두 취하여 하나의 종합 시스템으로 재구성하는 것을 그 목적으로 두고 있다. 우리는 기술 진보의 가속화와 열대태평양 변동성의 이해와 예측, 그리고 관측자료와 생산물을 지원하는 기관과 기타 이용자들에게 TPOS의 가치를 증대시킴으로써 이해당사자의 저변확대를 추구한다. 이 통합계획은 모델과 자료동화의 광범위한 다목적 이용이 필수 요소이다.

제1차보고서 (Cravatte et al., 2016; 이후 R1으로 이름)와 제2차보고서 (Kessler et al., 2019b; 이후 R2로 이름)에 이러한 재구성과 확장을 위한 세부적 근거를 제시하고, 성공(적 실현)을 위한 해양과 대기 변수 요구사항을 명시하였다. 이 최종보고서 (이후 R3로 이름)에는 제1차, 제2차보고서에서 얻은 결과나 분석내용을 반복해서 신지 않고, 부록 B에 요약 권고사항이 다시 언급되어 있다. 이 3차 보고서는 현재 가능한 남은 주제를 결정하고, 후세대에게 남겨진 문제점을 정의하고 있다. 여기에 모든 문제를 재언급하는 대신에 1차, 2차보고서에서 관련된 절을 참조하게 한다. 이 3권의 보고서는 모두 광범위한 검토 과정을 거쳤으므로 그만큼 전체의 구성요소를 함께 형성하는 다방면의 관점을 나타내고 있다.

이 최종보고서는 생지화학 관측 (섹션 2.1), 예측모델 (2.2), 자료관리와 접근 (2.3), 중추계류망 (2.4), 서안경계류를 통한 아열대 해역과의 연결 (2.5)에서 이전 보고서 이후 더 진척된 부분을 개량하였다.

TPOS 2020의 재편과 확대를 넘어서 ‘세계기상기구 (WMO)의 통합지구관측시스템 (WIGOS)’ 안에서 이 관측망의 점진적 발전을 위해서는 지속적인 과학적 제언이 필요하다. ‘통합지구관측시스템 (WIGOS)의 사전운용 지역 파일럿’과제로서 이 과제의 후속사업은 정부간 기구와 명확한 연관성을 지속적으로 요구받게 될 것이다. 제3장에서는 잠재적 변화의 과학적 평가 (3.2)와 정부간 연계의 필요성 (3.3)을 가능하게 하기 위한 2020 이후의 지배구조 (3.4)를 제안한다. 제4장 결론에서는 학습한 몇 가지 교훈을 제시한다.

이전의 1차, 2차보고서의 권고사항은 TPOS 2020의 주요 결론을 나타낸다. 이것은 부록 B에서 재언급되어 있다. 다음은 이 최종보고서의 표시된 절(섹션)에 설명된 추가 및 개선사항이다.

## 생지화학, 생물과 생태계

이 최종보고서는 (용존)산소 관측에 관한 이전의 권고 (사항)을 명확히 하고, 동태평양에서 (용존)산소량의 계류관측에 대한 향후 파일럿 연구를 기술하며, 그 결과물과 생태계 관측을 위한 방안을 제시한다.

**R3/권고사항1** 95°W를 따라 (고해상도 시간간격 유지를 위한) 용존산소량의 계류관측과 (더 광범위한 샘플링을 위한) BGC-Argo의 관측 보완이 필요함을 재확인한다. [2.1.1] (BCG-Argo: 생지화학 센서가 부착된 심층뜰개)

**R3/권고사항2** 열대계류관측망 관측조사에는 매년 용존산소 센서가 부착된 CTD와 생지화학 샘플링이 요구된다. 가능하다면 무기탄소 변수를 포함한 샘플링은 연2회 관측이 바람직하다. [2.1.1]

**R3/권고사항3** 열대계류관측망 관측조사에서 채수샘플과 같은 별도의 (자료)검증을 위한 BGC-Argo 전략이 필요하다.

**R3/권고사항4** (동물플랑크톤과 어류의 음향관측, 센서부착어류나 환경DNA의 음향탐지관측을 포함한) 계류관측과 현장조사를 통한 생태계 조사에 보다 많은 노력이 경주되어야 한다. 수산업과 생태계에 연관된 국제 패널의 자문이 권고된다. [2.1.2]

**R3/권고사항5** (엽록소, 탄소, 질산염, 용존산소, 수소이온농도, 이산화탄소분압 등) 확장된 TPOS 관측에서 격자형 생지화학 결과물 개발을 장려한다. [2.1.3]

## 모델 연구와 진척도

이 최종보고서는 이러한 기회의 잇점을 최대한 살리기 위한 특정 권고사항을 포함한 최신 모델과 예보센터 개발에 대응한다.

**R3/권고사항6** 모델 편향성에 대한 지적과 계절내 ~ 계절 예측시스템에 사용된 효용성을 감시하는 예측센터 사이의 협력이 더 나은 방향으로 진화하도록 장려한다. 이러한 조정은 운용센터 사이의 주기적 평가와 여러 예측체계의 ‘관측시스템실험(OSE)’ 또는 ‘관측시스템모의실험(OSSE)’을 포함한다. [2.2]

**R3/권고사항7** 관측초기화의 효용성을 저하시키는 모델편향을 줄이고, 과정을 모수화하는 향상된 기법을 유도하는 ‘과정 연구’를 권장한다. [2.2]

## TPOS 자료 이용과 접근

**R3/권고사항8** GOOS 관측조정그룹을 통한 운용의 호환성과 자료의 통합을 향상시키길 권고한다. [2.3]

-----  
[ ] 괄호 안의 숫자는 최종보고서/R3의 절을 의미한다.

## 중추 계류망

1차, 2차보고서에서 열대계류관측망(TMA)을 위한 여러 가지 권고사항이 정밀하게 적시된 바, 이 최종보고서에서는 명시적 선행사항으로서 좀더 구별하고 있다. 남북 방향으로 확장(관측망)이 권장되었지만, 위치는 개략적이었다. 염분관측의 확대가 권장되었지만, 그 수심과 위치는 개략적이었다. 모든 정점에서 표면유속 관측을 권고하고 있는 바, 우선할 정점이 (이 보고서에) 명시된다.

**R3/권고사항9** 110°W와 170°W의 10°N에 신규 계류가 요구된다. 계류(영역)을 북쪽으로 좀더 확장하기를 권고하지만, 필요한 관측항목을 지정하고 위치를 특정하기 위한 연구가 필요하다 (그림 2). [2.4.1]

**R3/권고사항10** 남태평양 열대수렴대(SPCZ)에서 특정 정점이 권고되기 전에 SPCZ 연구를 가능케 할 파일럿 계류(관측)이 필요하다 (그림 2와 4). [2.4.2]

**R3/권고사항11** 열대계류관측망(TMA)의 염분 관측에 대한 최우선 정점이 그림 5에 표시되어 있다. 즉, 난수풀과 그 동부 확장역: 서부 적도역을 따라 137°E에서 170°W까지, SPCZ에서 165°E 상 남북방향으로 5°S에서 적도를 지나 5°N 사이. 또한, 장기관측 두 정점 (0°, 140°W; 0°, 110°W)과 ITCZ 상의 정점 8°N, 110°W. [2.4.3]

**R3/권고사항12** TMA 염분관측에서 두 번째로 우선할 정점은 137°E에서 170°W 사이 2°S, 2°N에서 난수풀(과 동부 경계역) 대부분의 다른 정점들이다. 그리고, SPCZ에서 더 남쪽(에 위치한) 한 정점 (8°S, 165°E)과 140°W상 2°S와 2°N이 포함된다. [2.4.3]

**R3/권고사항13** 염분 관측의 수직 간격은 촘촘해야 한다. (1m: 수심 30m까지 매 5m 간격, 그 이하 80m까지 10m 간격, 그리고 수심 100m). 심층틀개(를 이용한) 단주기 보완(관측) 역할도 고려되어야 한다. [2.4.3]

**R3/권고사항14** 그림 8의 윗 패널에서 표면(부근) 유속을 재는 해류계의 최우선 항목(빨간색)을 보여주는 바, 이미 장기관측이 존재하는 아표층 ADCP의 적도상 정점, 아표층 ADCP가 추가되는 140°W 상 2°S에서 2°N 사이 정점, 그리고 두 정점 140°W, 5°S와 140°W, 5°N이 포함된다. [2.4.4]

**R3/권고사항15** 그림 8에 표면(부근) 유속을 재는 해류계의 두번째 우선 항목(파란색)을 보여주는 바, 적도상 모든 다른 정점과 경도 110°W, 140°W, 170°W, 165°E에서 2°S-2°N 사이에 위치한 정점, 그리고 ITCZ의 정점 9°N, 140°W을 포함한다. [2.4.4]

**R3/권고사항16** (수심 약 60m 상부에서 혼합층의 ADCP 유속구조를 보이는) 2단계 정점들은 앞으로 몇 년 동안 최후의 권고사항을 제공하기 전에 축적된 경험을 얻기 위하여 몇 개의 위치를 돌아가며 관측을 시도할 것을 권고한다. 그림 8의 아래 패널에 이런 파일럿 정점들의 위

치를 제시하고 있다.

## 저위도서안경계류(LLWBC)/인도네시아통과류(ITF) 시스템

인니통과류(ITF)를 포함하여 남북 태평양의 저위도서안경계류(LLWBC)는 지역규모와 지구규모에서 해양역학과 기후변동성에 결정적인 역할을 한다. 1차, 2차보고서에서 우리는 이 영역에서 파일럿 연구를 권고했다. 이 최종보고서에서는 추가적인 주의가 요구되는 현재진행형의 미결정 이슈 뿐만 아니라 파일럿 연구의 진척사항을 보고한다.

**R3/권고사항17** 잘 짜여진 관측채집 프로그램을 구성하는 방향으로 (예, CLIVAR PRP 지원 하에서) 서안경계류와 인니통과류 지역을 포함하는 지역적 초점을 맞추는 데에 역량을 집중하기 위한 단체웍샵을 권장한다. [2.5.3]

**R3/권고사항18** 남북서안경계류와 인니통과류 시스템을 규정하는 강하고 협소한 연안류와 비슷한 흐름, 복잡한 해저지형, 조석과 혼합 등의 어려운 문제를 풀기 위한 모델작업에 참여하도록 권장한다. [2.5.3]

## 향후 고려할 점

**R3/권고사항19** 연구와 예측시스템의 목적(달성)을 위한 열대태평양관측시스템(TPOS)의 전반적이고 현재진행형인 효율성의 지속적인 평가(제도)를 개발해야 한다. [3.1]

**R3/권고사항20** 중추(계류망)에 포함시킬 역량과 역할, 가능성의 준비(체계)를 평가할 명시적이고 독립적인 틀을 개발해야 한다. [3.2]

**R3/권고사항21** 전지구해양관측시스템(GOOS)이 연구와 운용추진 분야를 포함해서 광범위한 이해당사자의 참여를 위한 모범사례로 간주하도록 권장한다. [3.3]

**R3/권고사항22** 후원기관과 정부간 기구에 과학자문을 제공하고, 연구집단의 새로운 지식을 통합할 ‘과학자문위원회’을 중심으로 둔 세 분야의 일차적인 지배구조를 권고한다. 이해당사자 그룹은 자원에 중점을 맞추기 위해 일하고, 성공(여부)를 평가한다. 수행조정그룹은 기술적 조언과 고려사항을 공유하는 포럼을 제공하고, 현장운용과 구체적 채집 및 시험적 채집 방법을 조정한다 (그림 9). [3.4]