
報 告

海洋気象観測船による国際協力について

神谷 ひとみ*

要 旨

海洋気象観測船による国際協力は1955年の「北太平洋共同観測(NORPAC)」から始まった。以降、気象庁は「黒潮及び隣接水域共同調査(CSK)」、「日中黒潮共同調査研究(JRK)」、「熱帯海洋全球大気計画(TOGA)」、「世界海洋循環実験(WOCE)」等の国際計画に参加し、国際協力をしながら海洋観測を長期的に継続して実施し、業務を発展させてきた。この間、国際的には1980年代に気候にとっての海洋の重要性が認識されて「世界気候研究計画(WCRP)」が立ち上がり、1990年代には、相次いで全球規模の海洋観測が実施されるとともに、全球規模の海洋観測の効果的な展開・発展のために「全球海洋観測システム(GOOS)」が作られた。2000年代以降、全球規模の観測網の構築・維持・継続の重要性が広く認識されるようになり、それを支援するための観測船に関する国際的な枠組みとして、「全球海洋各層観測調査プログラム(GO-SHIP)」が作られる等、海洋観測に関する国際組織や国際計画等は科学技術の進歩とともに変化した。気象庁でも2010年より2隻の海洋気象観測船による新しい観測体制に変え、国際的な海洋観測網の一端を担って効果的な海洋観測を実施している。海洋気象観測船による海洋観測業務は様々な国際協力と関わりがある。海洋気象観測船に関する国際状況の変遷について概観する。

1. はじめに

海洋は、大気と比較して約1000倍の熱容量、約50倍の二酸化炭素貯蔵量を持ち、それらの大気との交換や海洋内部での輸送をつうじて、地球温暖化をはじめとした気候変動に大きく影響している。地球環境や気候変動に係る正確な情報を提供するには、海洋を含む数値モデル等を用いた解析を進め、海洋環境や気候変動のメカニズムを解明し、予測を行う必要がある。そのためには、内外の関係機関や国際プログラムと連携して様々な手段による海洋観測データの収集が必要である。

船舶を使った海洋観測は、海面から海底まで、多くの要素を高精度に観測できる唯一の手段であるが、一定の時間で実施できる観測点の数やカバーできる空間的な範囲に限られる。そのため、目的に応じて国際協力のもとで観測を実施する等、他船と共同して観測を分担することが効果的となる。気象庁では海洋気象観測船が、80年以上前から国内の共同調査に、50年以上前から国際プロジェクトに参加する等、効果的に海洋観測を実施してきた(第1表)。

これまでに、気象庁の海洋気象業務や海洋気象

* 地球環境・海洋部海洋環境解析センター

観測船の観測業務の変遷については、竹内(1956)、中野編(1962)、海洋気象部(1983)、荒川ほか(1989)、増澤編(1992)、藤谷(1999)、平編(2002)、石川・林(2003)等のとりまとめがあり、海洋観

測に関係する国際協力についても測候時報第65巻特別号(1998)で特集が組まれたり、日本海洋学会がとりまとめたものがある(中野編, 1962; 増澤編, 1992; 平編, 2002)。

第1表 海洋観測業務のあゆみと国際動向

年代	年	海洋気象観測船と海洋観測業務	観測海域等	年	国際動向
	1920	海洋気象台(現神戸海洋気象台)設置		1931	非政府の国際学術機関としてICSU発足
	1927	最初の海洋気象観測船春風丸(125トン)竣工(神戸)	日本周辺		
	1932	日本海一斉調査	日本海		
	1933	北太平洋一斉調査(~41)	九州・沖縄周辺の黒潮域		
	1936	黒潮丸(31トン, 宮古測候所)竣工 親潮丸(17トン, 八戸測候所)竣工 「海洋観測法」発刊	三陸沿岸		
	1937	凌風丸(1200トン)竣工(中央気象台)	北西太平洋		
	1938	朝潮丸(58トン)竣工(中央気象台)	沿岸		
1940~	1942	夕汐丸(141トン)竣工(中央気象台) 函館海洋気象台設置	日本周辺	1945	国連発足 1946 国連によりUNESCO発足
	1947	長崎, 舞鶴海洋気象台設置 北方定点の観測開始(~53)			
	1948	南方定点の観測開始(~81)			
	1949	夕汐丸, 函館へ移管 黒潮丸, 舞鶴へ移管			
1950~	1954	定期的海洋観測開始 親潮丸, 函館へ移管 春風丸II世(152トン)竣工(神戸)	日本周辺	1950	国連によりWMO発足
	1955	NORPACへ参加(中央気象台, 函館, 神戸, 長崎) BT, GEKの導入. 海洋気象観測指針発刊	東シナ海~三陸沖	1955	NORPAC観測(米国, カナダ, 日本)
	1957	IGY極前線観測(~58)に参加(中央気象台, 函館, 神戸)	北西太平洋	1957	IGY実施. それに合わせてICSUの下にSCORが発足
	1958	凌風丸による深海観測の開始	北西太平洋		
1960~	1960	長風丸(265トン)竣工(長崎) 日本近海の年2回の一斉観測	東シナ海	1960	UNESCOによりIOC発足. 1961年に最初の総会
	1963	高風丸(346トン)竣工(函館)	北海道周辺	1965	IOCのプロジェクト: CSK(~77)開始
	1964	清風丸II世(355トン)竣工(舞鶴)	日本海		
	1966	凌風丸II世(1598トン)竣工(本庁)	北西太平洋	1967	IOC, WMOによりIGOSS発足
	1967	CSK参加(本庁, 函館, 神戸, 舞鶴, 長崎): 東経137度線冬季観測開始. 黒潮短期変動観測(凌風丸, 高風丸, 春風丸, 清風丸, 長風丸)	北西太平洋		
	1969	啓風丸(1795トン)竣工(本庁)	海上気象	1969	IOCのプロジェクト: GEOSECS(~78)開始

第 1 表 つづき

年代	年	海洋気象観測船と海洋観測業務	観測海域等	年	国際動向
1970～	1970	海洋観測指針全面改訂版発行	日本周辺	1972	国連によりUNEP発足
	1972	海洋バックグラウンド汚染観測開始 夏季の東経137度線の観測を開始		1974	IOC, UNEP等のプロジェクト：GIPME発足
	1974	春風丸III世（363トン）竣工(神戸)		1975	IGOSSのプロジェクト： MAPMOPP開始(～80)
	1977	KER参加		1977	IOCによりWESTPAC発足：1979 年から定例会議
1980～	1981	気象研究所により、東経137度冬季の 二酸化炭素の研究観測開始	東経137度	1980	WMOとICSUによりWCRP発足 GIPMEのプロジェクト： MARPOLMON開始
	1986	KER第II期JRK参加	黒潮域	1985	WCRPのプロジェクト： TOGA(～94)開始
	1987	長風丸II世（480トン）竣工(長崎)： CTD, ADCP導入	東シナ海	1987	ICSUによりIGBP発足
	1988	高風丸II世（487トン）竣工(函館)	北海道周辺	1988	WMOとUNEPによりIPCC発足
	1989	凌風丸による温室効果ガス（二酸化 炭素，フロン，メタン等）の観測業 務開始		1989	SCOR, ICSUのプロジェクト： JGOFS(～03)開始
1990～	1990	WOCEへ参加(本庁，函館，神戸，長 崎)	北西太平洋	1990	TOGA-COARE (～94) 開始 WCRPのプロジェクト： WOCE(～97) 開始
	1992	TOGA-COARE観測（本庁：啓風丸） 温室効果ガス観測強化（海水中の観 測）		1991	IOCによりGOOS 発足
	1993	KER第III期/JRK参加(～98) 清風丸III世（484トン）竣工(舞鶴)		日本海	1995
	1994	WOCEワнтаイム観測：（P09）	北西太平洋		
	1995	凌風丸III世（1380トン）竣工(本庁) WOCEワнтаイム観測：（P24）	日本周辺		
	1999	海洋観測指針全面改訂版発行			
2000～	2000	ミレニアムプロジェクト「アルゴ計 画」に参加 啓風丸II世（1483トン）竣工(本庁)		2000	アルゴ計画開始
	2001	啓風丸神戸へ移管しCO2観測開始：春 風丸廃船		2003	IOC, SCORによりIOCCP発足
	2005	海洋の健康診断表公表開始		2005	GEO, GEOSS発足
	2010	高風丸，長風丸，清風丸廃船．啓風 丸本庁へ移管． 凌風丸・啓風丸による高精度観測開 始		2007	IOCCP, CLIVARによりGO- SHIP発足
			2009	OceanObs'09	

海洋気象観測船による国際協力への参加は観測技術の向上をもたらし、それを契機に新型測器を導入したり、観測方法を改良して観測指針を改訂するなど、船舶を使った海洋観測業務は国際協力と関わりを持ちながら発展してきた。本稿では海洋気象観測船が関わった主な国際協力と国際状況の変遷について概観する。なお、巻末に略語表を掲載した。

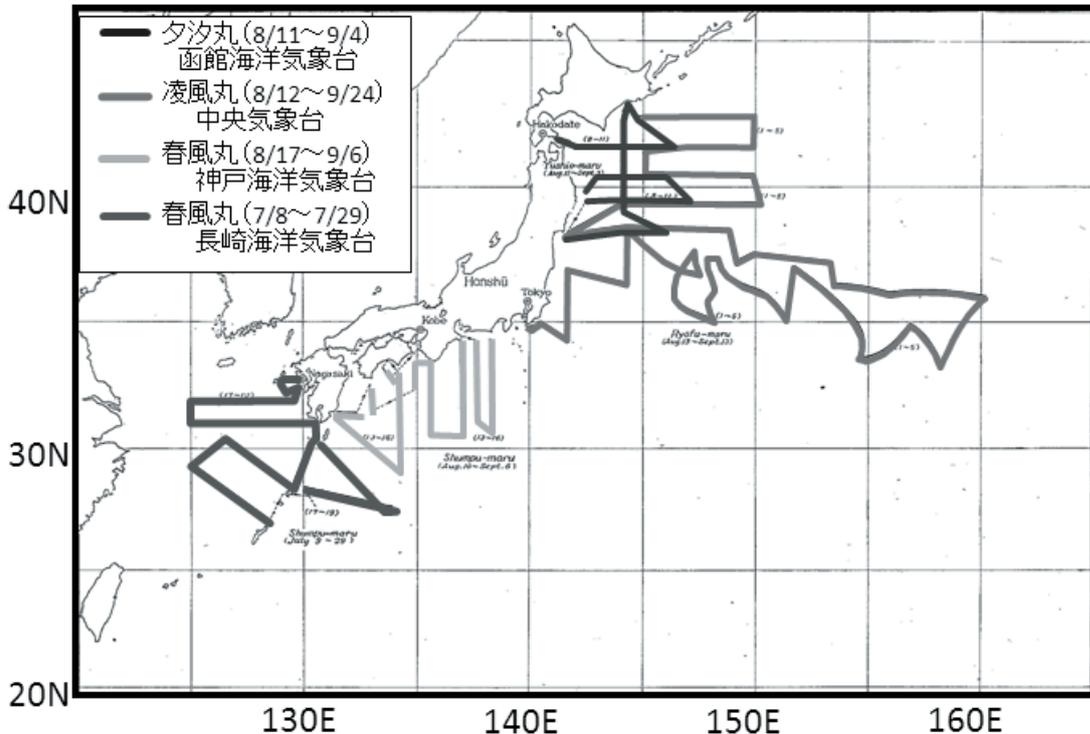
2. 国際共同観測の開始

2.1 最初の国際協力

観測船による世界最初の大規模な国際協力は1955年の「北太平洋共同観測 (NORPAC)」で、米国・カナダ・日本が協力して北太平洋の短期間での海況把握を目的として、夏季に19隻の観測船が総航走距離10万キロを超える集中調査を実施した (CalCOFI, 1956)。この観測には中央気象台 (凌風丸)、函館海洋気象台 (夕汐丸)、神戸海洋気象台 (春風丸)、長崎海洋気象台 (春風丸) が参加した。長崎海洋気象台は外洋での観測が可

能な船舶がなかったため、神戸海洋気象台の春風丸を長崎に回航して観測にあたった。第1図に中央気象台によるNORPACデータ集 (1956) に掲載された海洋気象観測船の観測線を示す。気象庁ではこの観測から整備された自記水深水温計、電磁海流計、光電比色計等の新型観測機器を用いて日本周辺の黒潮域から親潮域にかけて、水温、塩分、海流、溶存酸素、栄養塩 (リン酸塩、ケイ酸塩)、動植物プランクトン等の観測を実施したほか、海流については東シナ海と北海道南方海域では漂流ビンによる観測も実施した。このプロジェクトの調査結果は、NORPAC委員会がデータ集 (NORPAC Committee, 1960a, b) としてとりまとめて刊行し、データは北太平洋の漁業調査研究の基礎となった。

1957～1958年には「世界気象機関 (WMO)」や「国際学術連合会議 (ICSU)」が全球の総合的な地球物理学観測として計画した「国際地球観測年 (IGY)」が実施され、気象庁と函館、神戸海洋気象台から、凌風丸、夕汐丸、春風丸が参加し、



第1図 海洋気象観測船のNORPAC観測線

1955年7～9月のNORPACで、函館海洋気象台 (夕汐丸 8/11～9/3)、中央気象台 (凌風丸 8/13～9/13)、神戸海洋気象台 (春風丸 8/10～9/6)、長崎海洋気象台 (春風丸 7/9～7/29) が実施した観測線。

海上保安庁の観測船とともに三陸沖の極前線一斉海流調査を実施した。IGY は、気象、地磁気、太陽活動、地震、海洋など 12 の項目の観測に 67 か国が参加したこれまでにない大規模の国際協力となった。また、ICSU は IGY に併せて海洋の国際的な学術活動の推進のために「海洋研究科学委員会 (SCOR)」を設置した。

2.2 黒潮共同調査

2.2.1 CSK

1960 年代になると、海洋研究における国際協力の必要性の認識が高まり、1960 年にコペンハーゲンで開催された海洋研究の国際会議後、共同活動によって海洋とその資源の知識を増すことを目的として「国連教育科学文化機関 (UNESCO)」内に「政府間海洋学委員会 (IOC)」が設置され、1961 年に最初の総会が開かれた (寺田, 1962)。

1965 年には、IOC の公式計画として、黒潮を含んだ西太平洋の海洋循環を調査するため日本が中核となって「黒潮及び隣接水域共同調査 (CSK)」が計画された。CSK には 11 か国が参加し、東シナ海、南シナ海、日本海、太平洋の南緯 4 度から北緯 43 度、東経 160 度までの範囲内の重点海域で多数の船による大規模な観測を実施するとともに、測定標準化及び相互比較、船上研修等の相互訓練を行った。気象庁では、1966 年に凌風丸二世が竣工し、1967 年から CSK の一環として冬季の東経 137 度線の定線観測を開始、10 月には CSK 特別観測として、本庁と函館、神戸、舞鶴、長崎の各海洋気象台の観測船 (凌風丸、高風丸、春風丸、清風丸、長風丸) が共同で 15 日間の尾鷲沖黒潮短期変動の観測を行い、流速の短期変動が顕著なこと、強流帯の幅がそれまで考えられていたものよりも狭いことを明らかにした (増沢, 1978)。

CSK による調査は 1976 年まで続き、1979 年に日本で開催された第 4 回シンポジウムで 15 年にわたる共同調査・研究を終了したが、CSK で行った調査研究や教育訓練あるいは相互援助などアジア地域での協力活動を継続するため、IOC は 1977 年に「西太平洋海域共同調査 (WESTPAC)」を発足させた。WESTPAC は CSK のような期限

のついたプログラムではなく、西太平洋を対象とした海洋研究の推進を目指した地域活動体として組織されている。

2.2.2 KER/JRK

CSK による観測終了後、日本の海洋開発の一つの柱として、「黒潮の開発利用調査研究 (KER)」が 1977 年に日本国内で始まり、気象庁は、本庁と函館、神戸、舞鶴、長崎の各海洋気象台が海上保安庁、水産庁、海洋科学技術センター等とともに参加した。KER は黒潮海域の総合的調査研究を一元的かつ計画的に進め、海域特性の把握及び開発利用ポテンシャルの検討を行い、黒潮の開発利用方策の策定に資することを目標としていた。

1986 年までの KER 第一期では、1975 年と 1981 年に黒潮大蛇行が発生したため、大蛇行の発生、消滅、維持機構の解明を第一目標として調査研究を進め、大蛇行・冷水渦の発生・維持・消滅機構の全容を明らかにした (石川, 1998)。気象庁の 5 隻の海洋気象観測船は黒潮を横切る定線で、他機関の観測船とともに四季単位の集中観測を実施し、大蛇行の実態解明に貢献した。

1987 年からは KER の成果を引き継ぎ、日中科学技術協力委員会の提案をもとに、「日中黒潮共同調査研究 (JRK)」が KER の第二期として開始された。KER は、第二期が 1992 年、第三期が 1998 年に終了し、JRK は KER 第三期が終了する 1998 年末まで継続した。KER/JRK では、大気-海洋相互作用の研究が実施され、気象庁からは、電気伝導度水温水深計 (CTD) や超音波ドップラ一流向流速計 (ADCP) 等最新の観測機器を装備して 1987 年に竣工した長崎海洋気象台の長風丸が主となって、数値モデルの検証のため、トカラ海峡や九州南方に新しく観測定線を設けて黒潮の流量を把握したほか、東シナ海の黒潮に準 2 年周期の変動があることを示した。

2.3 全球規模の海洋観測

IOC は 1970 年に海洋開発及び研究の長期計画を実施するために、「国際海洋研究十年計画 (IDOE)」を設定した。IDOE は海洋環境の把握のための広範囲な分野に渡る計画で、全球の大洋

を網羅した海洋観測計画である「大洋縦断地球化学研究 (GEOSECS)」や、国連人間環境会議の勧告を受けて IOC や「国際連合環境計画 (UNEP)」等が学術調査のために計画した「海洋汚染全球調査 (GIPME)」等が採用された (IOC, 1974)。

GEOSECS は、全球の海洋の循環と混合過程の研究に、物理系データに加えて地球化学データを利用するため、海面から海底までの海洋観測を実施し、海水中の化学物質や炭素 14 などの放射性同位体等の分布、移動、化学変化などを調査する計画であった。第 2 図に観測点を示す。1972 年から 1978 年にかけての GEOSECS の観測により、海洋における各種成分の分布が明らかとなり、物質の挙動や海水の循環に関する知識は飛躍的に増大した。一方、この観測で、海洋内部の全炭酸等の二酸化炭素関連物質等が測定されたものの、人為起源の二酸化炭素の海洋への影響を推定するには観測機器や技術等がまだ不十分であった。

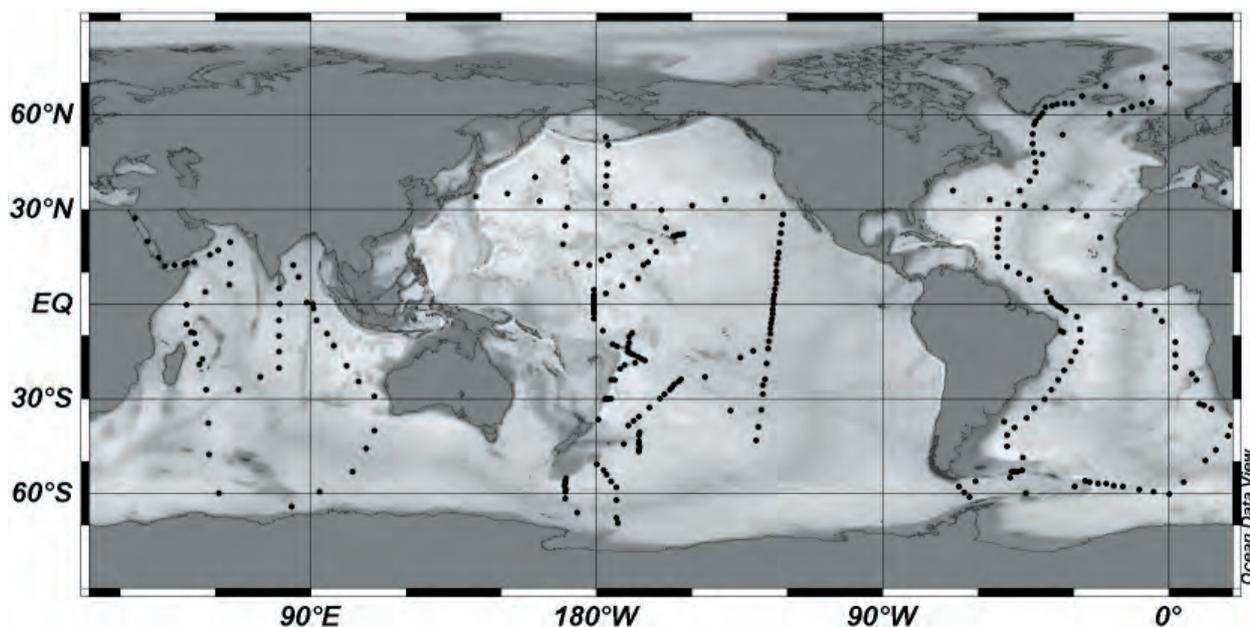
海洋環境の汚染防止に関する国際的な取り組みとして、1950 年代からタンカーへの規制が行われてきたが、海洋汚染に関する包括的な国際条約が発効したのは 1970 年代半ばからである。WMO と IOC は、即時的・現業的な海洋環境データを取り扱うために 1967 年に設立した「全世界海洋情報サービスシステム (IGOSS)」のも

とで、1970 年代当初に国際的な課題となっていた全球的な海洋汚染の現状把握を目的として、1975～1980 年に「海洋汚染監視パイロット計画 (MAPMOPP)」を実施した。MAPMOPP は 1980 年から、GIPME のプロジェクトとして「全世界海洋汚染監視計画 (MARPOLMON)」に移行した。日本でも海洋汚染に関する国際動向や国内の社会情勢に対応して、「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律」が 1971 年に施行された。これを受けて気象庁は、1972 年から日本周辺海域に汚染定線を設け、東経 137 度線の観測を冬季と夏季の年 2 回の観測に強化し、重金属 (水銀、カドミウム) を対象とした海洋バックグランド汚染観測を開始した。1975 年からは MAPMOPP に参加して、油類、浮遊物等の観測を追加し、異常時に速やかな情報提供ができるよう海洋環境の観測を継続している。海洋気象観測船の観測データは 1980 年までは MAPMOPP のデータセンターに、それ以降は MARPOLMON のデータセンターに提供した (小川・高谷, 1998)。

3. 気候変動研究のための国際協力

3.1 気候変動研究と海洋観測

海洋は全球の表面積の 7 割を占めるにも関わらず、海洋観測データは非常に少ない。そのため、



第 2 図 GEOSECS 観測点

技術革新が進み、コンピューターの性能が上がって気候変動研究に大気及び海洋の数値モデルが用いられるようになると、モデルを使って研究を進めるために海洋深層までの実況値が初期値として、また、検証用データとして必要になり、海洋観測の必要性、重要性が高まった。

1979年にWMOなどが主催した世界気候会議で、気候変動研究の推進が提言され、10月にはIOCとSCORが合同で「気候変動と海洋に関する委員会(CCCO)」を組織し、1981年のCCCOの第2回委員会で全球規模の海洋研究計画が提案された。1980年には、気候の予測可能性及び人間活動の気候への影響の程度を評価するために必要な、基礎的な気候システム及び気候プロセスの科学的理解を発展させるため、WMO、ICSUが後援して「世界気候研究計画(WCRP)」が発足した。1993年にIOCがWCRPの支援に加わるまでは、海洋に関する計画はWCRPの合同科学委員会とCCCOが協議のうえ、共催計画として実施された。

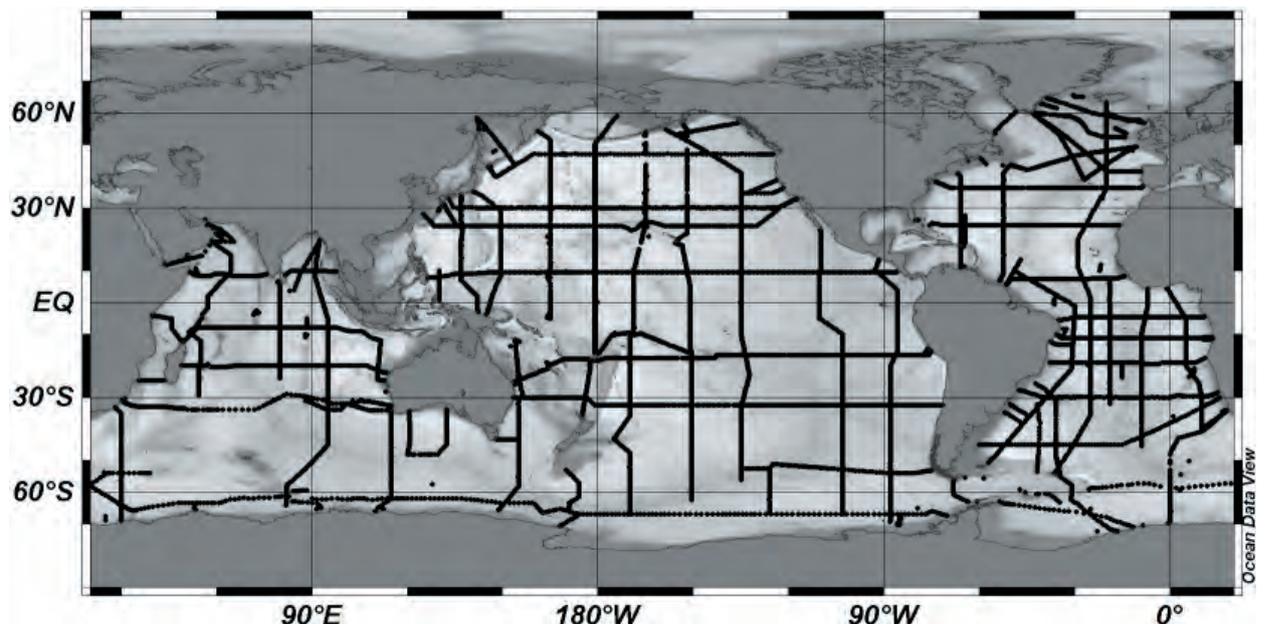
WCRPの計画は現象の時間スケールで分けると、(1)海面水温のアノマリの生成消滅に関わる数週間スケールでの大気気候予測の研究、(2)熱帯の大気との結合系の変動現象など数年スケ-

ールのエルニーニョ・南方振動(ENSO)の研究、(3)数十年の時間スケールで長期の気候変動の予測ができる海洋循環モデルの開発及びそれを検証できる海洋観測データの取得、の三つである(増澤編, 1992)。(2)については1985年から10年計画で「熱帯海洋全球大気計画(TOGA)」が開始され、(3)については、1990~1997年に30か国の参加により史上最大規模の海洋観測計画として「世界海洋循環実験(WOCE)」が実施された(第3図)。

3.1.1 TOGA

1985年から観測・研究が進められたTOGAは、気象と海洋の研究者が共同で、初めて本格的に取り組んだ国際プロジェクトで、全球の異常気象に影響を及ぼすと考えられているENSOのモデルによる予測可能性を探ることを目標とした(佐伯, 1988)。

TOGAの前半では海洋表層の温度構造及び海上気象データをリアルタイムに把握することを目的として、太平洋赤道域に係留ブイによる観測網が展開されたほか、漂流ブイや篤志観測船による表層水温観測等、広域観測システムが構築された。東経137度線の観測等で気象庁の凌風丸も貢献した。研究の進展に伴って、海面水温が特に高く大



第3図 WOCE ワンタイム観測採水点
WOCE ワンタイム観測で、採水・化学分析を実施した観測点。

気に大きな影響を与えると考えられる西太平洋熱帯域は、陸地が少なく気象・海洋両面ともデータが少ないため研究の支障となっていた。そのため、1990年から後半となった TOGA の中心的なプロジェクトとして「西太平洋大気海洋相互作用研究 (TOGA-COARE)」が実施された。これは西太平洋熱帯域の暖水プールの季節内振動に伴う大気変動と海洋変動に焦点を当てた計画で、1992年から1993年にかけて集中観測が実施された。気象庁からは啓風丸が参加して、海上気象観測、レーダー気象観測、高層気象観測、海洋観測を実施した(海上気象課, 1993)。これらの観測により、ENSO の理解が進み、その予測が可能となる等、TOGA では多くの成果が得られた(藤谷, 1998)。

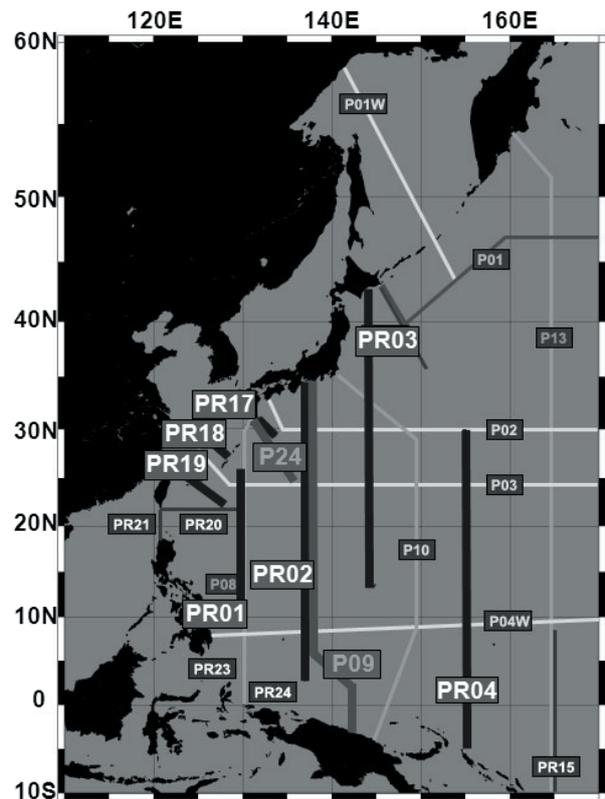
3.1.2 WOCE

1990年代に入ると、海洋気象観測船への新型の観測機器の導入が進み、海洋観測技術が向上した。それまで物理、化学、生物を含めた海洋観測はナンセン採水器／転倒温度計の個数に応じた層しか観測できなかったが、CTD システムの導入により水温・塩分は、連続した鉛直プロファイルデータとなり、化学分析等のための採水も任意の深さでの採水が可能となった。海流についても音響を利用して連続してデータを取得する ADCP が普及するなど、取得できるデータの量も質も格段に向上した。

1990年から観測が始まった WOCE では、変動の激しい海域や水塊の形成域で年1回以上の観測を繰り返すリピート観測と、高精度・高密度な観測を特別に実施するワнтаイム観測とに分けられた。ワнтаイム観測は、全球をカバーする定線で、水温、塩分、溶存酸素、栄養塩の海洋観測項目に加え炭酸関連物質や、フロン、トリチウム、ヘリウム等の指定された化学トレーサー物質の高品質のデータが必要とされ、陸から陸、海面から海底まで鉛直・水平に指定された高密度で水温、塩分、採水・分析による水質の観測を実施する必要があった。第4図に西太平洋の WOCE 観測線を、第2表に気象庁の海洋気象観測船による WOCE 観測の実施状況をそれぞれ示す。気象庁の海洋観測定線の多くがリピート観測線として位置づけられ

たので、それらの定線観測を実施しながら測器の調整や技術の改良に努め、1994年に東経137度線を P09 として、1995年に九州南東沖線を P24 としてワнтаイム観測を国際協力の下に実施した(金子, 1998; 金子, 2002)。ワнтаイム観測では、観測データの品質を高精度の水準に揃えるため、観測項目ごとに繰り返し精度や正確さ(又は再現性)の基準が設定され、その精度・正確さを得るための観測手順や分析方法のマニュアル等が WOCE の事務局により準備された。

WOCE の成果として、全球の海洋の海面から海底までの高品質の水温、塩分、水質のデータが得られるとともに、熱、淡水等の南北輸送量や、3次元の海水の循環分布が得られた。また、気候変動モデルの検証にデータが利用される等、これらの成果は、世界及び地域の気候変動・海洋変動の研究に利用されている。



第4図 西太平洋の WOCE 観測線

図中の記号 "P" は太平洋 (Pacific), "R" はリピート観測を表す。海洋気象観測船が実施した観測線(第2表)を太字で示す。http://cchdo.ucsd.edu/maps/pac_asia.html から引用 (2013年1月11日参照), 一部加工。

第 2 表 海洋気象観測船による WOCE 観測の実施

WOCE観測線(気象庁での呼称)	観測時期	参加船舶
PR01(130E線)	1992年冬季	凌風丸
PR02(137E線)	1990～1994年まで9回, 夏季と冬季	凌風丸
PR03(144E線)	1990～1992年まで3回, 秋季	高風丸・凌風丸
PR04(155E線)	1990～1993年まで4回, 夏季	凌風丸
PR17(I線)	1991～1995年まで16回, 季節ごと	春風丸
PR18(PN線)	1991～1995年まで16回, 季節ごと	長風丸
PR19(IS線)	1990～1994年まで5回, 秋季	長風丸
P09(137E線)	1994年夏季	凌風丸
P24(九州南東沖線)	1995年秋季	凌風丸

3.2 二酸化炭素の観測

人為起源による気候変化, 影響, 適応及び緩和方策に関し, 科学的, 技術的, 社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として, WMO と UNEP が 1988 年に設立した「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」から, 1990 年に第 1 次評価報告書が発表された。その評価の過程で地球温暖化に関する温室効果ガスとして人為起源の二酸化炭素が注目され, その吸収源の一つである海洋における二酸化炭素観測の重要性が高まった。また, 業務的な観測データの収集や研究活動の促進の重要性も指摘された。これを受けて気象庁は海洋バックグラウンド汚染観測の一環として 1989 年から凌風丸で温室効果ガスの観測を開始し, 東経 137 度で 1981 年から気象研究所が調査研究として継続していた二酸化炭素観測を業務化した (海洋気象部海洋課汚染分析センター, 1992)。

1980 年代半ばには海水中の全炭酸の新しい分析法が完成するなど, 海洋化学の観測技術も向上し GEOSECS よりも正確な観測が可能となった。そこで, SCOR と ICSU は, 海洋の全球規模での炭素及びそれに関連する元素の循環を理解し, 更に人為的な環境の変化がそれらに及ぼす影響の予測を可能にすることを目的とした国際プロジェクト, 「全球海洋フラックス合同研究計画 (JGOFS)」を 1987 年に立ち上げ, 1989 年から海洋化学の研究者を中心とした観測を開始した。JGOFS は,

ICSU が 1987 年に立ち上げた「地球圏 - 生物圏国際協同研究計画 (IGBP)」のプロジェクトに認定された。

地球環境の変化に関する研究は, 大気や海洋の温度・運動などの物理学的な側面, 大気や海水の組成などの化学的な側面及び生態系の効果などの生物学的な側面の三方向から取組まれている。そのうち, 主に, 物理学的側面は WCRP が取扱い, 化学的・生物学的側面については IGBP が取扱っている。IGBP のプロジェクトである JGOFS と WCRP のプロジェクトである WOCE を計画している CCCO との間で二酸化炭素に関する観測についての方針は大きな違いがないので, 海洋の二酸化炭素に関する全球規模の観測の基本方針等を共同で検討するために 1988 年に JGOFS-CCCO 合同諮問委員会が作られ, 2000 年まで活動した。また, CCCO は, 気候変動に関連し現業的に持続する海洋観測システムの確立も推進していたため, 「海洋観測システム開発パネル (OOSDP)」を 1990 年に設立した。

3.3 全球観測システムの構築

1990 年第二回世界気候会議で, 地球温暖化に関連して世界気候計画の拡充・強化のために, 「全球気候観測システム (GCOS)」を作ることが勧告され, その中で全球の海洋観測システムの構築も必要とされた。これを受けて IOC は 1991 年に IOC の事業として「全球海洋観測システム

(GOOS)」を発足させた(麻生, 1998)。OOSDPはGOOSの気候モジュールのための海洋観測システムを作り, その報告書を発行した1995年に期限が切れ解散した。1996年からは、「気候のための海洋観測パネル(OOPC)」がOOSDPの活動を引継いだ。GCOSの運営委員会はGCOSの海洋部分については, GOOSの気候モジュールと協力してOOPCのシステムを適用することで合意した。OOPCはGOOS, GCOSのほか, WCRPの海洋部門も支援している。

また, GOOSでは海洋汚染に関して「海の健康モジュール(HOTO)」が企画され, GIPMEの委員が主となってその計画立案にあたり, GIPMEは, HOTOに統合される形となった。HOTOは沿岸モジュールや海洋生物資源モジュールと同様に, 多くの問題が沿岸域に集中しているので2000年から「沿岸海洋観測パネル」となった(IOC, 1997, IOC, 2002a, IOC, 2006)。なお, GIPMEのプロジェクトであったMARPOLMONも終了している。

GOOSの地域パイロットプロジェクトとして1993年のUNESCO総会で, 北東アジア地域プロジェクトの実施が承認され, 「北東アジア地域GOOS(NEAR-GOOS)」計画が, 1996年WESTPACの活動の一つとして認められた。NEAR-GOOSは中国, 日本, 韓国, ロシアの4か国参加のもと, 日本海, 東シナ海, 黄海における観測データの取得からデータの共有, 情報の作成, そしてエンドユーザへのデータ・情報の提供に至る総合的なシステムで, 気象庁の海洋気象観測船もデータ提供で参加している(栗原, 1998)。

GOOSやGCOSにおける海洋・気象両分野の観測やデータ収集・管理等の推進を求める機運等を背景として, WMOとIOCは, 海洋・海上気象分野の観測, データの収集及び管理, プロダクトサービス, 能力開発等に係る調整のため, 1999年にWMO海洋気象委員会とIGOSSを母体として, 「WMO/IOC合同海洋・海上気象専門委員会(JCOMM)」を発足させた(吉田・佐伯, 2001)。

4. 現在の国際協力

4.1 船舶による高精度海洋観測の展開

1993年にTOGAの後継となるWCRPのプロジェクトとして, 季節から数十年スケールの気候の変動性及び予測可能性, 並びに人為的強制力に対する気候システムの応答について研究するために「気候変動及び予測可能性研究計画(CLIVAR)」が発足することが決まり, 1995年には科学計画が, 1998年には実施計画が策定され, 2013年までの15年計画として実施されている。

1999年に, これまでに構築された海洋観測網の維持・発展に向けた世界的な合意形成を目的としてOOPCとCLIVARの共同主催で「気候に関する海洋観測システム第一回国際会議(OceanObs'99)」が, 開催され, この会合でWOCEのワンタイム観測の再観測を実施する取組みについて国際的に合意が得られた。また, この会合の結果, 新しい技術を駆使した海洋内部の監視システムとして, アルゴ計画が全球的に展開されることとなった。

4.1.1 IOCCP

WOCE再観測の計画の中で気候システムの理解と予測を改善するために, 炭素循環の重要性が認識された(IOC, 2002b)。CCCOは2000年に解散していたので, 海洋の二酸化炭素関連の観測を効果的に実施するため, IOCとSCORは合同諮問委員会を作った。この委員会は, WCRP, IGBP等が総合的な全球の炭素管理に貢献することを目的として2001年に立ち上げた「全球炭素計画(GCP)」の提携プロジェクトとなり, 2003年に「国際海洋炭素調整プロジェクト(IOCCP)」として最初の会合を持ち, 2005年にはIOCとSCORの正式なプロジェクトとなった(IOCCP, 2005)。

IOCCPは, 全球の炭素循環の解明に必要な海洋の調査観測に関して, 観測計画や観測手法並びに観測成果に関する技術的調整や情報提供サービス等により, 持続的な海洋炭素観測システムを促進させる活動をしている。

4.1.2 GO-SHIP

国際的には 1970 年代から全球規模の海洋観測が始まり、ほぼ 10 年ごとに大規模な国際協力による海洋観測が実施されてきたが WOCE の観測終了後、観測船による全球的な海洋観測のための正式な国際的組織は存在せず、観測時期や内容は実施機関に任されていた。観測船による全球のワнтаム型の高精度観測は、各国の参加機関の観測計画の調整を行う機関が存在しないと、観測線の重複、欠落、観測項目や観測技術の違いによる観測データの品質の不整合等、効果的な観測成果が得られなくなる懸念がある。そこで、ワнтаム型の観測を持続的に実施するための戦略と 1990 年代前半に書かれた WOCE の海洋観測マニュアルを最新の観測環境に適応したものに改訂するために 2007 年に IOCCP と CLIVAR によって「全球海洋各層観測調査プログラム (GO-SHIP)」が設立された (Hood et al., 2009)。

GO-SHIP は、全球の WOCE ワンタイム観測線の中から観測線を選択し、約 10 年単位で繰返し観測をすることにより高品質の時系列を蓄積し、海洋における二酸化炭素蓄積量や深層までの循環の変化を検出しようとするものである。観測機器類が精密になり、GO-SHIP で求めるデータの品質基準が WOCE ワンタイム観測時よりも更に高品質のものとなったため、気象庁は 2009 年から最新の観測機器類を導入するとともに観測技術の向上を図り、2010 年に P09、2011 年に P13 (東経 165 度) の WOCE ワンタイムの再観測を実施した。日本からは、気象庁と独立行政法人海洋研究開発機構が GO-SHIP に参加している。

4.1.3 持続的な海洋観測網へ

2009 年に IOC、WMO 等が後援した海洋観測の国際会議である OceanObs'09 が開催され、海洋の総合的な理解促進のために全球の観測網を構築・維持・継続するとともにそれらを、様々なサービスに活用することにより社会へ還元していくことが重要であることが参加機関の間で確認された。また、海洋観測においては、物理系の観測項目に加え、生物地球化学や生態系の変動に関する項目の観測の必要性が指摘され、船舶による海洋観測

プログラムとして IOCCP や GO-SHIP の活動が高く評価された。その後、この会議の結果の取りまとめ (Lindstrom et al., 2012) を背景に、GOOS では海洋観測について、物理パネルは OOPC、炭素/地球化学パネルは IOCCP をそれぞれ基礎とする再編計画が進められている (GOOS, 2012)。また、IOCCP/GO-SHIP は、気候変動に関する二酸化炭素の海洋観測計画として JCOMM にも取り上げられている。

4.2 地球観測システム

地球温暖化等の人類が直面する重大な問題の多くは、全球規模の様々なシステムが複雑に関連している。これらの問題に的確に対処していくためには、様々なデータや情報を収集し、それらを組合せて統合的な解析を行い、その結果を政策立案や技術開発等に的確かつ迅速に反映させていくことが必要である。そのため、2005 年の第 3 回地球サミットにおいて「複数システムからなる全球地球観測システム (GEOSS)」10 年実施計画が「地球観測に関する政府間会合 (GEO)」とともに策定された。

海洋の観測は、観測船、人工衛星、アルゴフロート、漂流/係留ブイ、一般船舶、検潮所など、多岐にわたる観測手段により様々なデータが取得されている。GEOSS は、これらの手段で構成される海洋の観測システムとともに大気・陸域・地球内部・生態系等に関する各種地球観測を包括的に捉え、それらの最新のデータ・情報・解析結果を提供する観測及び情報ネットワークシステムとして政策立案者を含む幅広いユーザーが諸問題に対応する際の支援ツールを提供するもので、社会利益のための枠組みを構築する分野横断的な活動をしている。現在、GOOS や GCOS をはじめ、多くの観測システムやプロジェクトが GEOSS に参加している。

5. おわりに

これまで海洋気象観測船による海洋観測の重要な目的であった海流系や海洋の表・中層の水温・塩分等の海洋環境変動の実況監視は、衛星やアルゴフロートデータの充実、数値モデルの高度化

により、準リアルタイムで可能になってきた。一方、地球温暖化をはじめとする長期の気候変動や今後の大気中二酸化炭素濃度の増加に伴う海洋環境変動の実態把握と予測には、海洋内部の微小な変化の検出が必要なため、観測船による海洋内部の高精度な海洋観測が不可欠である。観測船による海洋観測は、総合的な観測システムの中で観測船がもつ利点を発揮し、国際的な観測網の一端を担って効果的に継続していくことが重要となっている。そのため、気象庁では2010年より2隻の海洋気象観測船による新しい観測体制で、IOCCPやGO-SHIPの枠組みのもとで北西太平洋において高精度の海洋観測を実施している。

参 考 文 献

- 荒川正一, 山本孝二, 宮内正厚 (1989) : 気象庁における海洋・海上気象観測 100 年. 気象, 383, 4-9.
- 麻生 正 (1998) : 全球海洋観測システム (GOOS). 測候時報, 65 特別号, S147-S150.
- California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations (CalCOFI) (1956) : REVIEW OF ACTIVITIES 1 April 1955-30 June 1956, Progress Report. STATE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF FISH AND GAME MARINE RESEARCH COMMITTEE, 7-19.
- 中央気象台 (1956) : THE RESULTS OF MARINE METEOROLOGICAL OCEANOGRAPHICAL OBSERVATIONS. 17, The NORPAC Edition, 131pp.
- 藤谷徳之助 (1998) : 熱帯海洋全球大気変動研究計画 (TOGA) への貢献. 測候時報, 65 特別号, S163-S166.
- 藤谷徳之助 (1999) : 海洋気象業務における長期モニタリング. 測候時報, 66 特別号, S1-S6.
- GOOS Project Office (2012) : Executive Summary Report of the 1st Session of the Steering Committee of the Global Ocean Observing System. GOOS Report 195, IOC/GOOS-SC-1/3s, Paris.
- Hood, M., M. Fukasawa, N. Gruber, G. C. Johnson, A. Körtzinger, C. Sabine, B. Sloyan, K. Stansfield, T. Tanhua (2009) : SHIP-BASED REPEAT HYDROGRAPHY : A STRATEGY FOR A SUSTAINED GLOBAL PROGRAM. Proceedings of OceanObs'09 : Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2), Venice, Italy, Hall, J., Harrison, D. E. & Stammer, D., Eds., ESA Publication WPP-306.
- IOC (1974) : The International Decade of Ocean Exploration (IDOE) 1971 ~ 1980. Intergovernmental Oceanographic Commission technical series 13, UNESCO.
- IOC (1997) : THE ALLIANCE BETWEEN GIPME AND THE HOTO MODULE OF GOOS. IOC/INF ~ 1071, UNESCO.
- IOC (2002a) : The Final Design Plan for the HOTO Module of GOOS. GOOS Report 99, IOC/INF ~ 1167, UNESCO.
- IOC (2002b) : A Global Ocean Carbon Observation System. A Background Report. GOOS Report 118, IOC/INF ~ 1173, UNESCO.
- IOC (2006) : REPORT BY THE IOC EXECUTIVE SECRETARY ON PROGRAMME IMPLEMENTATION. IOC/EC-XXXIX/2 Annex 1.
- IOCCP (2005) : IOC-SCOR International Ocean Carbon Coordination Project. UNESCO.
- 石川孝一 (1998) : 黒潮の開発利用調査研究. 測候時報, 65 特別号, S167-S172.
- 石川孝一, 林和彦 (2003) : 海洋気象観測船による気候変動に関する海洋変動の監視. 測候時報, 70 特別号, S57-S69.
- 海洋気象部 (1983) : 観測船の将来像について. 測候時報, 50, 3, 159-186.
- 海洋気象部海上気象課 (1993) : TOGA-COARE 観測報告. 測候時報, 60, 3, 141-172.
- 海洋気象部海洋課汚染分析センター (1992) : 海洋気象観測船凌風丸による温室効果気体及びオゾン層破壊物質の観測. 測候時報, 59, 4, 145-159.
- 金子郁雄 (1998) : 世界海洋循環実験計画 (WOCE). 測候時報, 65 特別号, S159-S161.
- 金子郁雄 (2002) : 気象庁による WOCE (世界海洋循環実験計画)海洋観測の成果. 測候時報, 69 特別号, S147-S160.
- 栗原幸雄 (1998) : 北東アジア地域海洋観測システム (NEAR-GOOS). 測候時報, 65 特別号, S151-S154.

- Lindstrom, E., J. Gunn, A. Fischer, A. McCurdy, L. K. Glover, K. Alverson, B. Berx, P. Burkill, F. Chavez, D. Checkley, C. Clark, V. Fabry, J. Hall, Y. Masumoto, D. Meldrum, M. Meredith, P. Monteiro, J. Mulbert, S. Pouliquen, C. Richter, S. Song, M. Tanner, R. Koopman, D. Cripe, M. Visbeck and S. Wilson (2012) : A Framework for Ocean Observing, UNESCO, 2012, IOC/INF-1284, doi : 10. 5270/OceanObs09-FOO.
- 増沢譲太郎 (1978) : 黒潮共同調査 (CSK) と私. 号外 海洋科学. 1 (2), 16-20.
- 増沢譲太郎編 (1992) : 「日本海洋学会 50 年史」. 海の研究, 1 (1), 228pp.
- 中野猿人編 (1962) : 日本海洋学会 20 年の歩み. 日本海洋学会, 213pp.
- NORPAC Committee (1960a) : Oceanic observations of the pacific 1955, the NORPAC Data. 1955. Univ. Calif. Press and Univ. Tokyo Press, Berkeley and Tokyo, 582pp.
- NORPAC Committee (1960b) : Oceanic observations of the pacific 1955, the NORPAC Atlas. 1955. Univ. Calif. Press and Univ. Tokyo Press, Berkeley and Tokyo, 123plates.
- 小川完, 高谷祐吉 (1998) : 海洋環境汚染全世界的調査 / 海洋汚染監視計画 (GIPME/MARPOLMoN). 測候時報, 65 特別号, S139-S141.
- 佐伯理郎 (1988) : TOGA 計画. 測候時報, 55, 5, 279-287.
- 平啓介編 (2002) : 「日本海洋学会 10 年 (1991 年～2000 年) の歩み」. 海の研究, 11, 1 (日本海洋学会創立 60 周年記念号), 195pp.
- 竹内能忠 (1956) : 日本における海洋観測. 測候時報, 23, 335-338.
- 寺田一彦 (1962) : 政府間海洋学委員会・海洋特別委員会等に出席して (1). 測候時報, 29, 4, 104-109.
- 吉田隆, 佐伯理郎 (2001) : JCOMM (WMO/IOC 合同海洋・海上気象専門委員会) 第 1 回会合報告. 海の研究, 10, 6, 587-591.

略 語 表

略語	名称	備考
CalCOFI	California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations	http://www.calcofi.org/
CLIVAR	Climate Variability and Predictability	http://www.clivar.org/
COARE	Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment	1992-1993
CCCO	Committee on Climate Change and the Ocean	1979-2000
CSK	Co-operative Study of the Kuroshio and Adjacent Regions	1965-1977
GCOS	Global Climate Observing System	http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/
GCP	Global Carbon Project	http://www.globalcarbonproject.org/
GEO	Group on Earth Observations	http://www.earthobservations.org/
GEOSECS	Geochemical Ocean Sections program	1969-1978
GEOSS	Global Earth Observation System of Systems	http://www.earthobservations.org/
GIPME	Global Investigation of Pollution in the Marine Environment	1974-2001
GOOS	Global Ocean Observing System	http://www.ioc-goos.org/
GO-SHIP	Global Ocean Ship-based Hydrographic Investigations Program	http://www.go-ship.org/
HOTO	Health of the Oceans Module	2000 年より沿岸海洋観測パネルへ統合
ICSU	International Council of Science	http://www.icsu.org/
IDOE	International Decade of Ocean Exploration	1971-1980
IGBP	International Geosphere-Biosphere Programme	http://www.igbp.net/
IGOSS	Integrated Global Ocean Services System	2001 年より JCOMM に統合
IGY	International Geophysical Year	1957-1958

IOC	Intergovernmental Oceanographic Commission (of UNESCO)	http://ioc-unesco.org/
IOCCP	International Ocean Carbon Coordination Project	http://www.ioccp.org/
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	http://www.ipcc.ch/
JCOMM	Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology	http://www.jcomm.info/
JGOFS	Joint Global Ocean Flux Study	http://ijgofs.whoi.edu/
JRK	Japan-China Joint Research Programme on the Kuroshio	1987-1998
KER	Kuroshio Exploitation and Utilization Research	1977-1998
MAPMOPP	Marine Pollution (Petroleum) Monitoring Pilot Project	http://www.jodc.go.jp/data/pollution/marpolmon_j.html
MARPOLMON	Marine Pollution Monitoring Network (IOC)	
NEAR-GOOS	North-East Asian Regional GOOS	http://www.ioc-goos.org/neargoos
NORPAC	Co-operative Survey of the North Pacific	1955
OOPC	Ocean Observations Panel for Climate	http://ioc-goos-oopc.org/index.php
OOSDP	Ocean Observing System Development Panel	http://ioc-goos-oopc.org/index.php
SCOR	Scientific Committee on Oceanic Research	http://www.scor-int.org/
TOGA	Tropical Ocean Global Atmosphere	1985-1994
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization	http://www.unesco.org/
UNEP	United Nations Environment Programme	http://www.unep.org/
WCRP	World Climate Research Program	http://www.wcrp-climate.org/
WESTPAC	IOC Sub-Commission for the Western Pacific Region	http://www.unescobkk.org/westpac/
WMO	World Meteorological Organization	http://www.wmo.int/
WOCE	World Ocean Circulation Experiment	1990-1997