

地球観測調査検討ワーキンググループ
各部会報告
(案)

目次

本報告書の位置づけ

地球観測調査検討ワーキンググループ部会メンバー

1. 地球温暖化部会報告	
1-1. 背景	1
1-2. ニーズと現状	2
1-3. 温暖化観測の目標・現状・課題	3
1-4. 今後 10 年間程度の取り組みの重点事項	15
1-5. 留意事項	18
1-6. 課題分析表	20
2. 地球規模水循環部会報告	
2-1. 背景	26
2-2. ニーズと現状	26
2-3. 今後 10 年で取り組む方向性と目標	27
2-4. 今後 10 年間程度の取り組みの重点事項	28
2-5. 留意事項	29
2-6. 課題分析表	31
3. 地球環境部会報告	
3-1. 地球環境観測調査の全体的な意義と課題	39
3-2. 対流圏観測調査	40
3-3. 成層圏観測調査	45
3-4. 海洋汚染（油類及びプラスチック系浮遊物等）観測調査	49
3-5. 海洋汚染（難分解性有機汚染物質等）観測調査	53
3-6. 地球環境観測の将来展開に向けての提言	55
3-7. 課題分析表	57
4. 生態系部会報告	
4-1. 背景	60
4-2. ニーズと現状	60
4-3. 生態系観測の目標・現状・課題	61
4-4. 今後 10 年間程度の取り組みの重要事項	64
4-5. 留意事項	65
4-6. 課題分析表	66
5. 定常観測部会報告	
5-1. はじめに	80
5-2. 地球観測の二-ズ（科学技術，行政，社会経済等）と優先順位	80
5-3. 地球観測の現状，二-ズとのギャップ，現行の地球観測の問題点	81
5-4. 今後 10 年間に特に推進すべき地球観測項目	83
5-5. 今後の地球観測システム	84
5-6. 観測課題分析表	85
6. 自然災害・地図作成・資源探査部会報告（自然災害）	
6-1. はじめに	90
6-2. 風水害分野	90
6-3. 地震災害分野	92

6-4.	火山災害分野	94
6-5.	大規模火災分野	96
6-6.	自然災害分野における地球観測のあり方(総論)	99
6-7.	課題分析表	100
7.	自然災害・地図作成・資源探査部会報告(地理情報)	
7-1.	はじめに	105
7-2.	地球観測の目的とニーズ	105
7-3.	観測の現状	105
7-4.	問題点のまとめと重点化の視点	109
7-5.	今後の地球観測項目	111
7-6.	今後の地球観測のあり方	113
7-7.	日本の役割	115
7-8.	課題分析表	116
8.	自然災害・地図作成・資源探査部会報告(エネルギー・資源)	
8-1.	はじめに	122
8-2.	エネルギー・鉱物資源分野	122
8-3.	森林資源分野	124
8-4.	農林資源分野	130
8-5.	海洋生物資源分野	133
8-6.	課題分析表	137
9.	地球科学部会報告	
9-1.	はじめに	144
9-2.	地球システムの理解	144
9-3.	地球科学観測の現状と課題	145
9-4.	地球科学観測の重点課題	154
9-5.	地球観測の推進体制	157
10.	国際対応部会報告	
10-1.	地球観測に関わる国際対応のあり方の検討について	161
10-2.	報告の範囲	161
10-3.	国際的な協力体制の現状とニーズ	161
10-4.	今後の国際対応の基本方針	162
10-5.	国際対応における今後の取り組みの考え方	162
10-6.	おわりに	163
11.	データシステム部会報告	
11-1.	背景	164
11-2.	ニーズと現状	164
11-3.	今後10年で取り組む方向性と目標	164
11-4.	今後10年間程度の取り組みの重点事項	167
11-5.	留意事項	167
11-6.	課題分析表	168

本報告の位置づけ

総合科学技術会議は、地球観測に関する我が国における今後の取組にあたっての基本的な考え方を明確にするために、重点分野推進戦略専門調査会・環境研究開発推進プロジェクトチームに地球観測調査検討ワーキンググループ（主査・市川惇信）を設置した（平成 15 年 9 月 26 日）。地球観測調査検討ワーキンググループは、我が国の地球観測について集中的な調査・検討を行い、「今後の地球観測に関する取り組みの基本について 中間取りまとめ」（以下、「中間取りまとめ」という。）を取りまとめた。「中間取りまとめ」は、重点分野推進戦略専門調査会及び環境研究開発推進プロジェクトチームでの審議を経て、総合科学技術会議において決定され、関係大臣に意見具申された（平成 16 年 3 月 24 日）。

一方、地球観測調査検討ワーキンググループは、地球観測の各分野の学識有識者から構成される部会を設け、引き続き、地球観測の各分野の現状、観測ニーズ、今後の取組方針（優先的に取り組むべき課題・事項）等について集中的に調査・検討した。それらの部会は以下のとおりである。

地球温暖化部会

地球規模水循環部会

地球環境部会

自然災害・地図作成・資源探査部会

定常観測部会

地球科学部会

データ部会

国際対応部会

生態系部会

地球観測調査検討ワーキンググループの各部会で作成された報告書のドラフトをホームページ上に公開（生態系部会の報告書を除く）して、地球観測に係わる各分野の専門家や地球観測に関心ある方々の意見を集約し、その意見を踏まえて「地球観測調査検討ワーキンググループ 各部会報告」として取りまとめた。

こうして多くの方々によって作成された本部会報告書が、「地球観測の推進戦略」（総合科学技術会議で取りまとめ中）の参照文書として、また関係機関における地球観測の実施計画策定の基礎資料として活用されることを期待する。

地球観測調査検討ワーキンググループ

地球観測調査検討ワーキンググループ部会メンバー

秋元肇	(独) 海洋研究開発機構	建石隆太郎	千葉大学環境リモートセンシング研究センター
五十嵐保	(独) 宇宙航空研究開発機構	津田敦	東京大学海洋研究所
石田中	(独) 宇宙航空研究開発機構	露木聡	東京大学大学院農学生命科学研究科
石原正仁	気象庁	戸田正憲	北海道大学低温科学研究所
井上元	国立環境研究所	鳥谷均	(独) 農業環境技術研究所
岩坂泰信	名古屋大学大学院環境学研究科	中静透	総合地球環境学研究所(生態系部会長)
宇根寛	国土交通省国土地理院	永田俊	京大学生態学研究センター
占部城太郎	東北大学大学院生命科学研究科	中根英昭	(独) 国立環境研究所
大久保修平	東京大学地震研究所	中村健治	名古屋大学地球水循環センター
大倉博	(独) 防災科学技術研究所	中山雅哉	東京大学情報基盤センター
大谷義一	(独) 森林総合研究所	野尻幸宏	(独) 国立環境研究所
沖理子	(独) 宇宙航空研究開発機構	濱野洋三	東京大学大学院理学系研究科
奥田敏統	(独) 国立環境研究所	樋口広芳	東京大学大学院農学生命科学研究科
小坂明	(独) 宇宙航空研究開発機構	福井学	東京都立大学大学院理学研究科
押村康一	(独) 宇宙航空研究開発機構	藤井理行	国立極地研究所
尾瀬智昭	気象庁	藤井良一	名古屋大学太陽地球環境研究所
開発一郎	広島大学総合科学部	藤谷徳之助	気象庁気象研究所(定常観測部会長)
川勝均	東京大学地震研究所	星野真弘	東京大学大学院理学系研究科
川津拓幸	気象庁	堀田平	(独) 海洋研究開発機構
神沢博	名古屋大学大学院環境学研究科	増本隆夫	(独) 農業工学研究所
喜連川優	東京大学生産技術研究所	松井孝典	東京大学大学院新領域創成科学研究科(地球科学部会長)
木村富士男	筑波大学大学院生命環境科学研究科	松浦充宏	東京大学大学院理学系研究科
木村学	東京大学大学院理学系研究科	松久幸敬	(独) 産業技術総合研究所
功刀正行	(独) 国立環境研究所	丸山茂徳	東京工業大学院工学大学研究科
栗山育子	(独) 宇宙航空研究開発機構	道田豊	東京大学海洋研究所
黒田芳史	(独) 海洋研究開発機構	緑川貴	気象庁
小池勲夫	東京大学海洋研究所(地球温暖化部会長)	三野徹	京都大学大学院農学研究科
小池俊雄	東京大学大学院工学系研究科(地球規模水循環部会長・データ部会長)	向井人史	(独) 国立環境研究所
甲山隆司	北海道大学大学院地球環境科学研究科	安岡善文	東京大学生産技術研究所(自然災害・地図作成・資源探査部会長)
近藤洋輝	(独) 海洋研究開発機構	山形俊男	東京大学大学院理学系研究科
齊藤隆	北海道大学北方生物圏フィールド科学センター	山本晋	(独) 産業技術総合研究所(地球環境部会長)
沢田治雄	(独) 森林総合研究所(国際対応部会長)	吉川正俊	名古屋大学情報連携基盤センター
柴崎亮介	東京大学空間情報科学研究センター	寄高博行	海上保安庁
白山義久	京都大学フィールド科学教育研究センター	六川修一	東京大学大学院工学系研究科
住明正	東京大学気候システム研究センター	和田一範	国土交通省国土技術政策総合研究所
高野清治	気象庁	渡辺興亜	国立極地研究所
寶馨	京都大学防災研究所		
多田隆治	東京大学大学院理学系研究科		

(敬称略)

1. 地球温暖化

1-1. 背景

地球温暖化が 21 世紀における人類の大きな関心事の一つであることは言うまでもないであろう。2001 年に出された IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル) の第 3 次報告書では、地上の平均気温が 20 世紀の間に約 0.6 度上昇し、この気温上昇は過去 1000 年のどの世紀よりも大きかったと考えられること、また衛星データによる 60 年代以降の雪氷面積の減少、海洋の貯熱量の増加など、様々な観測から地球の温暖化の傾向がよりはっきりしてきたことを述べている。精力的に行われた過去の気候調査に現在の気候データを重ね合わせることによって、世界的な地球温暖化についての全体像が明らかになりつつある。一方で、カリフォルニア大学のキーリング博士がハワイ島マウナロア山頂付近で大気中の二酸化炭素の連続観測を始めたのは 1957 年であり、また地球観測年 (IGY) の一環として同年から南極点での二酸化炭素濃度の連続観測が開始された。これらの精密な長期連続観測データによって大気中の二酸化炭素は着実に増加していることが明らかにされた。これまで実際のデータが無いままに提唱されていた論議である二酸化炭素等の温室効果メカニズムにより、気温の上昇が引き起こされる可能性を観測データと結びつけて検討されるようになった。

温室効果ガスには、二酸化炭素のほかメタン、一酸化二窒素、クロロフルオロカーボンなどがある。また、温室効果ガスには含まれないが、地表の温度を支配する人間活動にも起因する大気成分としてエアロゾルがある。自然起源のエアロゾルは、土壌粒子、海水の飛沫、火山灰などの微粒子である。一方、人間活動による化石燃料の使用によって、二酸化イオウや煤 (ブラックカーボン) などが多量に大気中に放出されている。一般にこのようなエアロゾルは、雲の凝結核となる他、太陽光を散乱させ地球が吸収する放射量を減少させ、負の温室効果をもたらす。しかし、ブラックカーボンなどは正の放射強制力を生じるなど組成によってもその影響は大きく異なり、現在地球温暖化に関与する大気成分の中では説明が遅れている成分である。大気中の水蒸気 (雲) も地球大気の温室効果には大きな効果を持っており、従って地球規模での水循環は地球温暖化と密接な関係がある。大気中の水蒸気は気象条件の影響を受け時空間的変動が極めて大きいことから、一般的には温室効果の議論では従属的要素と見なされ、前記のガス類が主な温室効果ガスとして扱われている。温室効果ガスはいずれも人間活動によりこれらの生成・吸収が大きく支配されており、特にクロロフルオロカーボンは完全に人間活動にその生成が由来している。しかし、クロロフルオロカーボンはオゾン層の破壊に関与することから、1987 年のモントリオール議定書により生産量が国際的に制限され、今後長期

的には減少していくことが予想されている。このような大気成分の科学的な作用機構の解明と国際政治が結びつき法的な手段を執ることが出来たことは、その他の温室効果ガス排出に関する国際的な取り決めの策定に関して一つの指針を与えるものとなった。二酸化炭素の排出削減についての京都議定書はこれに習うものであるが、二酸化炭素の生成・吸収には人間活動以外にも多くのプロセスがあり、その制御機構も複雑である。このような背景から、地球温暖化に大きな影響を及ぼす二酸化炭素・メタン・一酸化二窒素に関して、大気中での収支に関与する大気・海洋・陸域での物質循環の観測・プロセス解明が地球温暖化観測・研究の一つの柱になっている。

さらに、先に述べたエアロゾルと雲が相互作用することで地球温暖化と関係がある地球放射環境に大きな影響を与えていることが指摘されていることも見逃せない。地球の放射環境を明らかにすることは、将来の温暖化予測の不確実性を小さくすることにつながる。従って、観測とモデルの連携により、エアロゾルと雲の相互作用メカニズムの解明と、影響度の定量化が必要となっている。地球の気温を定め、大気や海を駆動し、気象の多様性を生み、人類を含む生物圏を反映させているエネルギーのほとんどは太陽を源とする放射である。地球温暖化の問題は地球に入射する太陽放射の量と、出てゆく地球放射の量の収支を知ることから始まる。入射した太陽放射は、地球上の様々な物質 (例えば、地表面、雲、大気) と相互作用し、一部は反射して宇宙空間に放出され、また一部は熱として取り込まれ、大気や海を駆動するエネルギーとして利用されるという複雑なプロセスを経る。これらのプロセスは全地球規模で時空間的に変動していることが地上に多くの観測点を必要とする理由である。宇宙からの衛星観測は有効な手法の一つと言える。

地球温暖化が進行することで、地球環境の変化は様々な事象に及ぶと考えられている。気候変化を予測し評価する IPCC の第 1 作業部会では、2100 年における世界の気温上昇および海水面上昇を予測しており、このような近未来の気候変化のシナリオに対してその影響、脆弱性を第 2 作業部会で影響予測や評価を行っている。例えば、過去 30 年間、北半球の積雪面積は約 10% 減少しているが、特に、1980 年代半ば以降の減少、また季節としては、融雪期である春における減少が顕著である。融雪期の顕著な積雪面積の減少は、積雪域のアルベド・フィードバックが働いているとの考えが出されている。北半球の海水面積も過去 30 年間では減少傾向にあり、その速度は 10 年間で 3% ほどの割合である。北極海の海水面積の減少を季節で見ると 8 月から 9 月に特に顕著である。これらは温暖化の影響と考えられ、海面上昇は太平洋などに点在する隆起珊瑚礁からなる島嶼国家にとっては大きな脅威である。また、

地球観測調査検討ワーキンググループ
各部会報告
(案)

目次

本報告書の位置づけ

地球観測調査検討ワーキンググループ部会メンバー

1. 地球温暖化部会報告	
1-1. 背景	1
1-2. ニーズと現状	2
1-3. 温暖化観測の目標・現状・課題	3
1-4. 今後10年間程度の取り組みの重点事項	15
1-5. 留意事項	18
1-6. 課題分析表	20
2. 地球規模水循環部会報告	
2-1. 背景	26
2-2. ニーズと現状	26
2-3. 今後10年で取り組む方向性と目標	27
2-4. 今後10年間程度の取り組みの重点事項	28
2-5. 留意事項	29
2-6. 課題分析表	31
3. 地球環境部会報告	
3-1. 地球環境観測調査の全体的な意義と課題	39
3-2. 対流圏観測調査	40
3-3. 成層圏観測調査	45
3-4. 海洋汚染（油類及びプラスチック系浮遊物等）観測調査	49
3-5. 海洋汚染（難分解性有機汚染物質等）観測調査	53
3-6. 地球環境観測の将来展開に向けての提言	55
3-7. 課題分析表	57
4. 生態系部会報告	
4-1. 背景	60
4-2. ニーズと現状	60
4-3. 生態系観測の目標・現状・課題	61
4-4. 今後10年間程度の取り組みの重要事項	64
4-5. 留意事項	65
4-6. 課題分析表	66
5. 定常観測部会報告	
5-1. はじめに	80
5-2. 地球観測の二-ズ（科学技術，行政，社会経済等）と優先順位	80
5-3. 地球観測の現状，二-ズとのギャップ，現行の地球観測の問題点	81
5-4. 今後10年間に特に推進すべき地球観測項目	83
5-5. 今後の地球観測システム	84
5-6. 観測課題分析表	85
6. 自然災害・地図作成・資源探査部会報告（自然災害）	
6-1. はじめに	90
6-2. 風水害分野	90
6-3. 地震災害分野	92

6-4.	火山災害分野	94
6-5.	大規模火災分野	96
6-6.	自然災害分野における地球観測のあり方(総論)	99
6-7.	課題分析表	100
7.	自然災害・地図作成・資源探査部会報告(地理情報)	
7-1.	はじめに	105
7-2.	地球観測の目的とニーズ	105
7-3.	観測の現状	105
7-4.	問題点のまとめと重点化の視点	109
7-5.	今後の地球観測項目	111
7-6.	今後の地球観測のあり方	113
7-7.	日本の役割	115
7-8.	課題分析表	116
8.	自然災害・地図作成・資源探査部会報告(エネルギー・資源)	
8-1.	はじめに	122
8-2.	エネルギー・鉱物資源分野	122
8-3.	森林資源分野	124
8-4.	農林資源分野	130
8-5.	海洋生物資源分野	133
8-6.	課題分析表	137
9.	地球科学部会報告	
9-1.	はじめに	144
9-2.	地球システムの理解	144
9-3.	地球科学観測の現状と課題	145
9-4.	地球科学観測の重点課題	154
9-5.	地球観測の推進体制	157
10.	国際対応部会報告	
10-1.	地球観測に関わる国際対応のあり方の検討について	161
10-2.	報告の範囲	161
10-3.	国際的な協力体制の現状とニーズ	161
10-4.	今後の国際対応の基本方針	162
10-5.	国際対応における今後の取り組みの考え方	162
10-6.	おわりに	163
11.	データシステム部会報告	
11-1.	背景	164
11-2.	ニーズと現状	164
11-3.	今後10年で取り組む方向性と目標	164
11-4.	今後10年間程度の取り組みの重点事項	167
11-5.	留意事項	167
11-6.	課題分析表	168

本報告の位置づけ

総合科学技術会議は、地球観測に関する我が国における今後の取組にあたっての基本的な考え方を明確にするために、重点分野推進戦略専門調査会・環境研究開発推進プロジェクトチームに地球観測調査検討ワーキンググループ（主査・市川惇信）を設置した（平成 15 年 9 月 26 日）。地球観測調査検討ワーキンググループは、我が国の地球観測について集中的な調査・検討を行い、「今後の地球観測に関する取り組みの基本について 中間取りまとめ」（以下、「中間取りまとめ」という。）を取りまとめた。「中間取りまとめ」は、重点分野推進戦略専門調査会及び環境研究開発推進プロジェクトチームでの審議を経て、総合科学技術会議において決定され、関係大臣に意見具申された（平成 16 年 3 月 24 日）。

一方、地球観測調査検討ワーキンググループは、地球観測の各分野の学識有識者から構成される部会を設け、引き続き、地球観測の各分野の現状、観測ニーズ、今後の取組方針（優先的に取り組むべき課題・事項）等について集中的に調査・検討した。それらの部会は以下のとおりである。

地球温暖化部会

地球規模水循環部会

地球環境部会

自然災害・地図作成・資源探査部会

定常観測部会

地球科学部会

データ部会

国際対応部会

生態系部会

地球観測調査検討ワーキンググループの各部会で作成された報告書のドラフトをホームページ上に公開（生態系部会の報告書を除く）して、地球観測に係わる各分野の専門家や地球観測に関心ある方々の意見を集約し、その意見を踏まえて「地球観測調査検討ワーキンググループ 各部会報告」として取りまとめた。

こうして多くの方々によって作成された本部会報告書が、「地球観測の推進戦略」（総合科学技術会議で取りまとめ中）の参照文書として、また関係機関における地球観測の実施計画策定の基礎資料として活用されることを期待する。

地球観測調査検討ワーキンググループ

地球観測調査検討ワーキンググループ部会メンバー

秋元肇	(独) 海洋研究開発機構	建石隆太郎	千葉大学環境リモートセンシング研究センター
五十嵐保	(独) 宇宙航空研究開発機構	津田敦	東京大学海洋研究所
石田中	(独) 宇宙航空研究開発機構	露木聡	東京大学大学院農学生命科学研究科
石原正仁	気象庁	戸田正憲	北海道大学低温科学研究所
井上元	国立環境研究所	鳥谷均	(独) 農業環境技術研究所
岩坂泰信	名古屋大学大学院環境学研究科	中静透	総合地球環境学研究所(生態系部会長)
宇根寛	国土交通省国土地理院	永田俊	京大学生態学研究センター
占部城太郎	東北大学大学院生命科学研究科	中根英昭	(独) 国立環境研究所
大久保修平	東京大学地震研究所	中村健治	名古屋大学地球水循環センター
大倉博	(独) 防災科学技術研究所	中山雅哉	東京大学情報基盤センター
大谷義一	(独) 森林総合研究所	野尻幸宏	(独) 国立環境研究所
沖理子	(独) 宇宙航空研究開発機構	濱野洋三	東京大学大学院理学系研究科
奥田敏統	(独) 国立環境研究所	樋口広芳	東京大学大学院農学生命科学研究科
小坂明	(独) 宇宙航空研究開発機構	福井学	東京都立大学大学院理学研究科
押村康一	(独) 宇宙航空研究開発機構	藤井理行	国立極地研究所
尾瀬智昭	気象庁	藤井良一	名古屋大学太陽地球環境研究所
開発一郎	広島大学総合科学部	藤谷徳之助	気象庁気象研究所(定常観測部会長)
川勝均	東京大学地震研究所	星野真弘	東京大学大学院理学系研究科
川津拓幸	気象庁	堀田平	(独) 海洋研究開発機構
神沢博	名古屋大学大学院環境学研究科	増本隆夫	(独) 農業工学研究所
喜連川優	東京大学生産技術研究所	松井孝典	東京大学大学院新領域創成科学研究科(地球科学部会長)
木村富士男	筑波大学大学院生命環境科学研究科	松浦充宏	東京大学大学院理学系研究科
木村学	東京大学大学院理学系研究科	松久幸敬	(独) 産業技術総合研究所
功刀正行	(独) 国立環境研究所	丸山茂徳	東京工業大学院工学大学研究科
栗山育子	(独) 宇宙航空研究開発機構	道田豊	東京大学海洋研究所
黒田芳史	(独) 海洋研究開発機構	緑川貴	気象庁
小池勲夫	東京大学海洋研究所(地球温暖化部会長)	三野徹	京都大学大学院農学研究科
小池俊雄	東京大学大学院工学系研究科(地球規模水循環部会長・データ部会長)	向井人史	(独) 国立環境研究所
甲山隆司	北海道大学大学院地球環境科学研究科	安岡善文	東京大学生産技術研究所(自然災害・地図作成・資源探査部会長)
近藤洋輝	(独) 海洋研究開発機構	山形俊男	東京大学大学院理学系研究科
齊藤隆	北海道大学北方生物圏フィールド科学センター	山本晋	(独) 産業技術総合研究所(地球環境部会長)
沢田治雄	(独) 森林総合研究所(国際対応部会長)	吉川正俊	名古屋大学情報連携基盤センター
柴崎亮介	東京大学空間情報科学研究センター	寄高博行	海上保安庁
白山義久	京都大学フィールド科学教育研究センター	六川修一	東京大学大学院工学系研究科
住明正	東京大学気候システム研究センター	和田一範	国土交通省国土技術政策総合研究所
高野清治	気象庁	渡辺興亜	国立極地研究所
寶馨	京都大学防災研究所		
多田隆治	東京大学大学院理学系研究科		

(敬称略)

気候メカニズムの変化により地域によっては降水量や降水頻度が変わる可能性があり、そのため水需給のバランスが崩れるなど日常生活や農業などへの影響が懸念されている。また温暖化により夏季の暑い日が多くなることが予測されているが、これにより熱射病などの発生率が増加し、特に高齢者の死亡率が増えることが心配されている。また、死亡率の高い熱帯熱マラリアの流行危険地域が北上し、中国北部、韓国、西日本一帯までが100年後にはその危険地域に入る可能性が指摘されている。このような温暖化による様々な現象を長期的に観測することも地球観測の重要な柱である。

1-2. ニーズと現状

地球温暖化における観測のニーズは次の3つに大別することが出来る。気象・海象要素などを含む地球の温暖化のモニタリングは、地球温暖化に関心を持つすべての国民のニーズである。この目的での観測は現在定常観測として、各省庁の研究・調査機関で実施されている。2つ目は、モデラーを含む気候変動の研究者を主なユーザーとした地球温暖化のプロセスを理解するための解析に必要な地球観測であり、地球温暖化とリンクする大気成分(二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素)などの濃度、及びそれらの大気・陸域間あるいは大気・海洋間のフラックスのモニタリング、さらに大気中微粒子(エアロゾル、雲)の分布や物理特性の観測、及びそれらの変化のモニタリングである。これらの観測は、温暖化のモデリング・将来予測のための検証データとして必要なものである。さらに地球大気モデリングのためのパラメータを明らかにする観測も含まれる。さらに様々な産業活動に携わっている一般国民が必要とする、地球の温暖化が食料生産や生態系を含む地球環境に与える影響を監視し評価するための観測である。この観測の対象としては、気象・海象(気温、水温、降水量など)、海水面(水位)、雪氷(大陸氷河、氷床、海氷)、陸域・海域生態系などがある。また、気象庁が行っている各地の桜などの開花調査、気象庁・海上保安庁による海水面変動調査などもこの影響評価の観測とも考えることが出来る。

1-2-1. 我が国の基本方針

我が国においては、総合科学技術会議の重点分野推進戦略に基づいて、環境分野での重点課題に対応した「地球温暖化研究イニシアティブ」が立ち上がっており、研究の枠組みの立案がすでになされている。従って、この枠組みの中での温暖化のための地球観測計画を重視して立案する必要がある。この研究の中で温暖化の観測が明らかにすべき事項は以下のとおりである。

二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、ハロゲン化炭化水素、対流圏オゾンなど主要温室効果ガスの濃度変化は？エアロゾル、イオウ化合物等

の放射強制力に影響を与える成分と温暖化との関係は？

陸域と海洋の二酸化炭素吸収の現状と変化 大気 海洋 陸域の炭素や窒素の大規模循環はどうなっているのか？

土地利用、海氷、雪氷、生態系の現状と変化 いつの時点でどのような気候や海面水位などの変化がおこるか？

人間活動による温室効果ガスの発生・吸収量、人口、産業構造、森林等の変化、エネルギー需給構造の変化 人為的な温室効果ガスの発生源と発生量はどのように推移するのか？

1-2-2. 国際的な動向

地球温暖化に関わる観測においては多くの国際的な取り組みが行われており、これらの国際プロジェクトからの要請も我が国に対するニーズと考えることが出来る。地球温暖化観測と密接に関連する気候変動に関する観測については全球気候観測システム(GCOS)が活動しており、昨年4月のGCOS分科委員会で承認された、GCOS第2回適性度報告(Second report on the adequacy of the global observation systems for climate in support of the UNFCCC)は、昨年12月のCOP9/SBSTA19(第9回締約国会議/科学的及び技術的な助言のための補助機関第19回会合)に基づいて討論されており、今後の実施計画がSBSTA21で報告されることになった。この適性度報告の中には、温暖化研究の観点から重要な、観測項目が提示されている。以下に、UNFCCCやIPCCの目的に合う統一的な気候情報を提供していくために必要で、全球規模で気候監視にみあう高品質の観測を行っていくべきとされた観測量を、大気・海洋・陸面の成分ごとに整理した。

全球での実施が現在可能でUNFCCCの要請に大きなインパクトをもつ「基本気候変数」

【大気】

表面： 気温、降水量、気圧、放射収支、風速、風向、水蒸気量、視程

高層： 放射収支(太陽放射含む)、上層大気温度、風速、風向、水蒸気量、雲特性

組成： 二酸化炭素、メタン、オゾン、他の温室効果ガス、エアロゾル特性

【海洋】

海面： 海面水温、海面塩分、水位、海面状態、海氷、海流、海色(生物活動のため)、二酸化炭素分圧

表層： 水温、塩分、海流、硝酸、炭素、トレーサ、リン酸

【陸面】

河川流量、水利用、陸水、湖面水位、積雪被覆、氷河、氷帽、永久凍土及び季節凍土、反射率、陸

面被覆(植生タイプを含む), fAPAR(光合成有効放射吸収率), LAI(葉面積指数), バイオマス, 森林火災

また, 温暖化への寄与率の半分以上を占める二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの大気蓄積を決める人為的な排出と森林や海洋への炭素吸収を評価し, そのメカニズムを理解し, 将来を予測することが, 地球温暖化を防止するための排出削減目標を科学的根拠に基づいて設定するためにも重要である。我が国の温暖化研究に関わる観測はこのような地球規模での炭素循環研究における国際プロジェクトである GCP(Global Carbon Project), および定常的な炭素観測を目指す全球炭素観測(IGCO, Integrated Global Carbon Observation)の提案と連携して推進しなくてはならない。同時にこれらの活動は IPCC に重要な貢献となる。これらの国際プロジェクトにおいては, 温室効果ガス観測について, 以下のことを重視している。

温室効果ガスの発生, 吸収, 輸送, 変質などの現状を把握することが重要である。

自然のプロセスと人為影響において温室効果ガスの大気, 陸域, 海洋のプール間のフラックスと, 各プールのストックを, 長期継続的にグローバルに観測することが基本である。

その長期変動を駆動する人為排出量の統計データを長期に継続的に調査して, その変動要因を明らかにする。また, それは自然のプロセスと人為要因を分離して解析する重要な情報である。現在調査しなければ過去にさかのぼって調査できない点で観測と同じ性格をもつ。

二酸化炭素など温室効果ガス濃度だけではなく, 自然との相互作用の駆動力を明らかにするための様々な観測が重要である。研究として実施されその有効性が明らかになったものを, 長期に, グローバルに, 系統的に展開することが重要である。排出削減努力の評価として炭素隔離や排出削減などが大気中二酸化炭素濃度レベルにどのように貢献するかを監視・予測する。地域や分野ごとの発生/吸収を評価する(空間的な分解能を上げる)ことを含む。

気候変化に伴う炭素循環変化として気温上昇, 高二酸化炭素濃度, 水環境変化など気候が変化した環境での陸域の炭素ストック変化のモニタリングが重要である。

1-3. 温暖化観測の目標・現状・課題

1-3-1. 温暖化観測で今後 10 年間に達成すべき目標

二酸化炭素の大気中濃度観測からそのフラックスを月単位で, 陸域では 100 km, 海洋では 500 km の空間分解能で, 誤差 10 %で算出。

陸域・海洋・人為など発生源・吸収源を分離するための同位体, 酸素, その他の大気微量成分の観測をモニタリングへ移行。(世界で 100 地点。フラスコサンプリングでは炭素同位体は 0.02 ‰で, 酸素濃

度を 10 permeg(パーメグ:百万分の1)で, それぞれ相互比較できることと, 自動連続観測に移行)

気温上昇, 二酸化炭素・窒素酸化物の施肥効果, 水環境の変化, 病虫害の移動, 森林火災などの擾乱, 異常気象の頻発など, 将来の環境変化に対する食料生産や陸域生態系の応答・炭素フラックス/ストック変化に関する試験モニタリングの実施と, その後の長期モニタリングの定式化。

メタンの大気中濃度観測から, そのフラックスを月単位で, 陸域で 100 km で, 誤差 30%で測定。消滅に関わる OH ラジカル濃度を含めた大気化学関連観測をモニタリングに移行。

エアロゾルと雲の相互作用メカニズムの解明と, 放射収支に与える影響の定量化。温暖化がもたらす雲量や雲頂および雲底高度の変化メカニズムの把握と, その定式化。

1-3-2. 気象・海象観測

日本における, 地上, 高層, 潮位の定常観測地点のうち, 地上観測に関しては, 気象庁の 156 の観測点で定常観測がおこなわれており, そのうち 14 地点は GCOS の地上ネットワーク(GSN)に指定されている。また, 高層観測に関しても, 18 の陸上観測点で定常観測が行われており, そのうち, 南極昭和基地など 7 地点は, GCOS 高層ネットワーク(GUAN)に指定されている。一方, 海上気象や海象の観測は, 観測・調査船, 篤志観測船(VOS)およびブイにより行われている。

上記により, 温度, 降水量(雨・雪を区別), 上層風, 陸上風, 水蒸気, 海上風など, 基本的な気象の物理量や, 水温, 塩分, 海流, 波浪, 潮位などの基本的な海象要素が観測されている。これらにより, これまで, 地上気温や, 海面水位(検潮), など地球温暖化監視の基本的物理量が測定されており, 今後も一貫した観測の継続が必要である。

1-3-3. 大気組成観測

衛星観測

グローバル(全経度, 季節)に, 大気中二酸化炭素のカラム濃度を, 1 ppm の精度で観測する衛星。10 年後の衛星センサとして 1 ppm の精度の実現をめざし, その第一段階として 4 ppm の精度を目標として進められている GOSAT センサのハードウェア開発とデータ解析技術の研究をすすめること, さらに, 次期センサの開発を目指した研究には, 極めて高いプライオリティを与えるべきである。GOSAT センサの構成・データ解析・検証観測などに広範な研究者の英知を結集して成功させることが重要である。

地上観測

GCOS の大気部分で直ちに行うべきことは, フラックスの多様性をより空間的に代表するもっと密度の高い観測ネットワークを建設し観測を維持することである。そのためには少なくとも 0.2 ppm の測定

確度を持つ、直接連続観測あるいはフラスコサンプリングによる定常的な観測ネットワークの充実と最適化(相互に比較できる精度として0.2ppm)である。現在達成しているよりもっと高密度の観測網を、大陸内部でネットワークを拡張することが必要である。

現在この観測は研究として実施されており、世界で100地点でのステーションからなる。わが国で連続観測を、気象庁(3地点)、環境研(2ヶ所+シベリア10地点)、極地研(南北極2地点)での観測を実施している。今後、大陸内部や熱帯地域などに観測領域を広げる必要がある。そのためには費用対効果の高いセンサ開発と既存のプラットフォームを有効活用することが重要である。

航空機による高度分布の観測

航空機での直接連続観測あるいはフラスコサンプリング分析による高度分布の定常的な観測ネットワークを充実することが重要である。航空機などにより大気中の二酸化炭素濃度の全球的な三次元分布が求められ、大気の輸送の評価も含めて、さらにモデルを本質的なところで束縛する、有効なデータとなる。そのためには高精度・高頻度で高度分布を測定する必要があり、その経済的な方法として民間航空機による全球的な詳細な観測を実施することが現実的で、重要である。しかしながら、民間航空機に観測機器を搭載するには、1.航空機の安全に関する完全な認証を得るための機器開発、2.運行にあたる民間航空機会社の理解と協力を得て地球全体をカバーすること、3.飛行場周辺での汚染、長期にメンテナシで運用することからくる測定精度・データの質を保證するQA/QC体制の確立が必要である。

我が国は航空機によるモニタリングを世界に先駆けて実施してきた。仙台沖でのフラスコ(東北大)、民間航空機による成田-シドニー間でのフラスコ(日航・気象庁)、シベリア3ヶ所での連続+フラスコ(環境研)、相模湾沖での連続+フラスコ(環境研・JAXA)などが実施されている。また、民間機に搭載できる連続測定器の開発が進められており(環境研・日航・気象研など)、民間航空機による観測を整備することで、地上観測が困難な場所を含め世界約数百地点で、毎日のペースでの観測が可能である。

炭素同位体、酸素濃度

大気・海洋・陸域の炭素循環の理解に不可欠な二酸化炭素の同位体、酸素濃度などの高精度観測ネットワークの充実と、相互比較できる標準ガスシステムの構築。二酸化炭素の発生源に関連する一酸化炭素(CO)、水素(H₂)、煤(BC:ブラックカーボン)などの観測が重要である。

我が国では、国立環境研究所(波照間、落石の地上ステーション、シベリアでの航空機、北米・豪州航路の船舶、苫小牧のフラックスサイトなど)、東北大(日本-オーストラリアの商船、中国内陸)、極

地研究所(昭和基地、スバルバル)、産業総合研究所(高山)、京都大学(シベリア)などでフラスコサンプリングによる同位体比の長期継続的な観測が行われている。大気中の酸素濃度については、国立環境研究所(GC-TCD法)や東北大(質量分析法)が二酸化炭素等の同位体比観測と同時に分析を行っている。また、国立環境研究所は波照間の地上ステーションで酸素濃度の連続自動測定を行っている。

エアロゾルの観測

地球温暖化の監視と将来予測をより発展させるためには、一般には、気候システムを構成する大気・海洋・陸面間のエネルギー相互作用、大気大循環を駆動する水循環、放射過程をコントロールする雲とエアロゾル、長期変動を支配する大気海洋相互作用の理解を進める必要がある。しかし、現在もっとも不確実性が高く、重点的な研究を進めなければならない課題として、IPCC第一作業部会が取りまとめた第三次評価報告書の本文第7章では、

「おそらく、気候の将来予測における、最大の不確実性は、雲や、雲・放射の相互作用に起因する。」

と指摘しており、また、この相互作用には、エアロゾルが関与していることから、エアロゾルの雲を通しての放射への効果、いわゆる間接効果が上記の不確実性に含まれる。実際、上記報告書の「政策決定者への要約(SPM)」では、放射強制力に関連して、

「エアロゾルは、直接的な放射強制力に加え、雲への効果を介して、間接的な放射強制力も持っている。この間接的な効果は、その度合は非常に不確実であるものの、負の値の放射強制力であり、現在、この効果に関して、より多くの事実が集まっている。」

と記述している。現在、この問題に関する研究が進みつつあるものの、大きな不確実が残されている。これらを考慮すれば、大気における、雲・エアロゾル・放射をめぐる物理過程に関する理解を進めることが最重要課題であり、従来の気象・海象の観測に加えて、衛星、航空機などによる観測手段を導入して、放射収支など放射の物理過程、三次元雲分布、三次元エアロゾル分布を把握する観測が必要と考えられる。従来の気象、海象の観測体制の維持は重要な役割を引き続き担うものである。

このエアロゾル、雲の観測には理想的には、大気観測用の専用航空機の確保が必要である。このような専用機の確保によって、始めて観測技術のノウハウが蓄積され、我が国の大気観測の大幅な向上につながると考えられる。特に雲システムの研究には航空機観測が非常に有効である。しかし、我が国での当面の対応として、研究観測用の専用航空機が無いことを前提にすると、我が国では比較的設備が整っている船舶の利用と、高い技術による高度な地上観測システムの開発と配備がもっとも現実的・効果的であると考えられる。具体的にはエアロゾルと雲の気候影響研究にとっては、日射計、赤外放射計、マ

マイクロ波放射計，スカイラジオメーターなどの受動型のセンサを，2 波長ライダーと雲レーダなどの能動型センサを組み合わせた地上（船舶を含む）設置型システムが有効である．これらの機器は全自動化できる．同時に大気質を観測するために短寿命ガスとエアロゾルの観測が必要である．そのために二酸化イオウ（SO₂），一酸化炭素（CO），オゾン（O₃），さらにエアロゾルの観測機器が必要である．最近では大循環モデルにおいても雲核量を顕わに表すことによってエアロゾルの間接効果をシミュレーションする必要があるため雲核計が必要になる．これらも全自動型にする必要がある．これらの観測データの包括的な収集は，下記の地球温暖化プロセスの理解を高める上で，必要不可欠である．

（雲とエアロゾルの鉛直分布の解析）

エアロゾルの雲との相互作用を気候研究の観点から研究するためには，エアロゾルの特性（粒径分布，化学組成など）とともに雲底付近の雲粒径の情報が非常に重要である．このような研究は，現在の大循環モデリングにおいて大きな不確定性をもつ低層雲の形成過程のモデリングにとっても重要である．また，大循環モデルを用いて地球温暖化研究を行うためには，中上層雲の融解プロセスを理解につながる中上層雲の雲量，雲水量，有効粒子半径，雲粒子落下速度などの温度依存性のデータ取得が必要である．しかし，これらの情報は受動センサ観測では得ることが出来なく，能動センサである 94 GHz 雲レーダとライダーの同時解析が必要である．現在進められている，「人・人間・地球共生プロジェクト」のモデリンググループは，この部分のパラメタリゼーションの違いにより 1 度から 2 度程度の気候感度の変化が起きるとしている．2005 年頃に実現予定の NASA（米国大気海洋局）による CALIPSO と CLOUDSAT による A-train 計画は，短期間の技術実証ミッションであるが，衛星搭載レーダとライダーのデータが得られ，その検証と同時解析が気候研究にとって重要である．さらに，より高精度で本格的な研究観測を目的として単一衛星に雲レーダ，ライダー，受動センサを搭載した，EarthCARE 計画が日欧協力により研究中である．

（エアロゾルの光学的厚さと一次散乱アルベド）

スカイラジオメーター，日射計，エアロゾルサンプリング装置で得られる情報を総合的に検討することで，放射エネルギー収支のエアロゾルの光学的厚さと一次散乱アルベドを得る新たな試みがある．エアロゾルの直接効果は大気上端ではほとんど 0 であるが，大気下端では大きな放射強制を起こすために，大気安定度やモンスーン循環を変調する間接循環を引き起こす．それにともなって降雨量も 1mm/day の大きさで変化する可能性がある．その定量化を行うことは重要である．

（衛星観測による降雨量，水蒸気解析）

TRMM/PR による直接観測の他に，可視・赤外センサとマイクロ波センサを組み合わせた高度なアルゴリズムが存在する．この衛星観測は地上における土壌水分量，雲の鉛直分布の観測と併せると有効である．将来は GPM 主衛星も利用できる

（衛星観測による雲解析）

従来の雲量，雲頂温度に加えて雲水量，光学的厚さ，有効粒径，氷雲・水雲の分離等を可視・赤外放射計とマイクロ波放射計データを複合解析する．2005 年頃からは A-Train 衛星群のデータが利用できる．

（衛星観測によるエアロゾル解析）

エアロゾル種，光学的厚さ，オングストローム指数などを出す新たな研究が出てきている．2005 年頃からは A-Train 衛星群のデータが利用できる．これらの解析研究は，GEWEX (Global Energy and Water cycle Experiment) や既存の気象観測網で行われている早く応答するシステムのための観測網と同時に解析されることが重要である．たとえば，土壌水分量は GEWEX/GAME (Asian Monsoon Experiment)/CEOP (Coordinated Enhanced Observing Period) プロジェクトで投資され配備されているので，共同が可能である．

温室効果ガス観測の精度管理

二酸化炭素について，WMO（世界気象機関）は NOAA の標準ガスを推奨している．我が国は東北大学が開発した重量法による標準ガスシステムを，東北大学，国立環境研究所，気象研究所，極地研究所で持っており，気象庁は NOAA の標準ガスを使用している．NOAA の標準ガスとの相互比較が定期的に行われている．国立環境研究所では大気中二酸化炭素同位体計測のための国際的相互比較と標準ガスシステムの体制整備を進めている．また，大気中酸素濃度測定のための標準ガスの開発も進めている．

1-3-4. 陸域観測

定常的な二酸化炭素，エネルギー，水蒸気フラックス観測

陸域生態系での二酸化炭素，エネルギー，水蒸気のフラックスを連続的に渦相関タワーで測定する定常的なネットワークの展開と適正配置が必要である．ここで重要なことは，1. 現存する渦相関生態系フラックスの観測を，それぞれの場所で少なくとも 10 年間の継続することを保証すること，2. 観測密度の低い地域や擾乱を受けている生態系にも拡張し，3. 即時性のあるデータ公開を実現し，データの質を保証することである．また，較正付の二酸化炭素濃度の測定を加え，大気観測ネットワークを補強するべきである．

現在，この観測は世界で約 150 地点のタワーから

なるネットワークで実施されており、近いうちに250地点に増加する可能性がある。

我が国では、高山（産業総合研究所・岐阜大学）、苫小牧（国立環境研究所）、林野庁によって6ヶ所での長期観測が実施され、大学などによって国内に約15ヶ所、海外（シベリア、中国、タイ、マレーシア、インドネシアなど）に約10ヶ所での観測を実施している。また、これらのサイトと韓国などのサイトが協力してAsia Flux ネットワークを組織している。今後、生態系タイプ、生態系の回復のステージや土地利用の強さなど様々な種類の土地被覆地域をカバーする観測が重要である。

Asia Flux では測定法やデータ解析に関するガイドブックを出版している。苫小牧のフラックスサイトを国際相互比較の場として提供している。

複雑地形などフラックスの直接計測に関わる問題

陸域生態系の二酸化炭素フラックスは幾つかの方法で測定されているが、森林・草地・農地などでは微気象学的方法が一般化しつつある。しかしながら、夜間や降雨時の測定など欠測が避けられないこと、長周期成分などエネルギーフラックスが閉じないこと等の課題が残され、未だ開発や研究的要素が多い。さらに、この方法が適用できるのは平坦で均一な場所に限られるため、複雑地形でのフラックス測定に大きな研究開発課題が残されている。アジアの人口密度が高い地域では、平地は農業用地化され森林は複雑な地形の山岳地に多く、適用に向けた課題が多い。

葉、枝、幹、根、土壌、林床植生などコンパートメントごとの炭素収支測定

気候変動実験のほかに、植物の葉、枝、幹、根、土壌、林床植生など森林のコンパートメントごとに炭素収支を測定し、その気温・日射・土壌水分・生物季節（Phenology）などに対する応答や、そのコンパートメント間の相互作用を理解する必要がある。そのため、コンパートメントごとの炭素収支を自動で長期に計測することが重要である。少なくとも長期に運営する二酸化炭素フラックスサイトではこうした観測と結合した総合的なモニタリングが重要である。

現在の陸域炭素観測は、生態学的な観測（一次生物生産やバイオマス、土壌炭素など）、渦相関法によるフラックス観測、陸域の（高高度タワーや航空機による）大気中の二酸化炭素濃度観測、遠隔計測データなどから成り立っている。さらに、肥料、気候、土壌水分、日射、擾乱（焼失面積や衛星からの火災個所）などの情報がある。

森林および土壌のバイオマス

森林バイオマスのインベントリは、地上部の炭素貯留の大きさ変化をモニターするのに重要である。現在のインベントリは、商用木材の量を高精度で（国

レベルでは標準誤差が1%）定量化するように策定されている。直径、樹高、樹齢の要素とバイオマスの関係式を使って、樹木の炭素貯留を推定できる。しかし、一定の変換/拡張係数を使うことは、樹木の密度も拡張係数も樹齢や樹種により大きく変わることから、大きな誤差を生じさせる。さらに、繰り返されるインベントリから堆積増加を求め、炭素の隔離量に変換するには、植物の器官によって異なるCO₂として大気に帰っていく速度を考慮した拡張係数が必要である。非商用林や熱帯森林までカバーを広げ、衛星からバイオマスを遠隔計測する技術(SAR)を発展させるにはさらなる研究が必要である。

土壌炭素の貯留量は大気や地上陸域炭素プールの2倍以上の大きさがあるが、管理のあり方により極めて変動しやすい。このプールの特性を明らかにするためには、有機層と無機土壌双方のデータが必要である。全炭素プールはバルク密度と深さ方向の分布によっても決められるので、それ自身の炭素濃度だけでは十分ではない。さらに、土壌の脆弱性を理解するには、早いターンオーバーのサブプールと遅いものとを区別する必要がある。それは生物学的、化学的、物理的な流動性加速のメカニズムにかかわる。

多くの国の土壌調査は土壌中炭素貯留の定量化ができるように実施している。こうした調査のほとんどは土壌の体積密度や石の混入推定がほとんど考慮されていないので、現在使える情報源を代表しているに過ぎない。さらに、土壌炭素計測の技術開発、土壌炭素評価の新しいモデルに基づいた柔軟性に富んだ取り組み、モデルに必要な生物物理的パラメータの提供が必要である。

1-3-5. 海域観測

従来から、海洋の循環や物質循環に関わる観測は主として観測船による現場観測を中心に行われてきた。我が国では、気象庁や水産庁が現業観測として、太平洋におけるいくつかの定線でCO₂観測を含む温暖化に関係する成分の観測を行ってきた。例えば、気象庁では本邦南方の東経137度の定線で1980年代の始めから継続して海洋・大気中のCO₂観測を行っており、精度の高い長期観測として高く評価されている。

これらの観測船による観測は多種・多様な観測を高い精度で実施できること、観測目的にあわせて運航を計画できるなど多くの長所があり、今後も強く推進されるべきである。しかし、観測船による観測では、船舶の数や運航経費の面から、観測データの時間・空間密度を飛躍的に充実させることは極めて難しい。従って、今後は、観測船による観測の長所を生かして、海洋定点観測の充実、国際共同による海洋定線・断面観測の推進、研究観測の充実、を図るとともに、これらと連携しながらSOOP (ships-of-opportunity)の活用、自動観測センサの開発とブイ・フロートの利用の推進、衛星観測

およびデータの利用促進等，によって観測データの時空間密度の充実を図ることが重要である．ここでは，これらによる温暖化研究観測における必要項目の整理を行い，今後の観測船・研究船による研究観測を加える．

海洋定点観測

従来型の観測船による観測定線のスナップショット的な海洋観測により海洋の構造が解析されてきた．これに対し，海洋定点観測では，季節・年の進行にともなう海洋の変動・変化を観測するのが目的であり，温暖化現象解明のためのプロセス研究，海洋物質循環モデルの検証と将来予測，海洋の長期変化検出に重要な意味を持つ．

観測が比較的容易な亜熱帯海域でかつ島の観測拠点に近いハワイ，パミュダで季節的に密度の高い長期観測研究が実施されてきた．1988年からは，炭素循環観測に必要なパラメータを網羅した観測が開始され，10年スケールの海洋生態系構造変化，海洋表層二酸化炭素濃度の増加のような長期変動も確認されている．毎月の観測船観測が原則として実施され，可能な限り多くの物理・化学・生物パラメータを観測することで，現象間の相関・因果関係を解析できる代表的ステーションとなった．アラスカ湾海域にカナダの気象定点観測船が運用された1960年代から1981年の期間には週ごとに物理・化学観測が実施され，海洋炭素循環研究に重要なデータが蓄積された．しかし，定点観測船の運用は廃止された．日本では1998年から2000年を集中観測期間として北西太平洋高緯度において年9回程度の繰り返し観測が実施されたが，その後の高い頻度での定常的観測の継続が途絶えた．

海洋の定点観測として，実現性のある海域の点で，隔月程度以上の観測頻度で観測船観測を行うことが，海洋の炭素循環研究には必要である．亜熱帯海域の観測は，先進国の研究拠点が存在する島から近い海域に代表的観測点を設定することができた点で地理的に恵まれていた．太平洋高緯度海域には適切な拠点になりうる離島がない．カナダ定点では，定点観測船が維持されなくなって以来，高頻度観測が困難となり，その後は年3回程度と観測頻度が低下している．

観測定点を多数維持することは困難であるが，海洋物質循環モデルを検証する目的では，海域特性の大きく異なる代表的な観測定点を各国が分担して維持し，高い質の観測を続けることが重要である．太平洋には亜熱帯循環といわれる大きな海洋循環系があり，循環域中央部に位置しているハワイ観測定点でのデータと比較するうえでも，亜熱帯循環の源流と下流である東西亜熱帯海域の対象観測が望まれる．また，亜寒帯海域東西には，陸からの栄養塩供給の違いなどを反映した生態系構造の相違があり，東西の対照定点観測が望まれる（千島沖とアラスカ湾）．東部赤道海域には大きな湧昇域があり，エルニーニ

ョ周期で湧昇強度が変化し気候変動を与えている．一方，西部赤道海域は世界の海洋で最も表面水温の高い海域である（warm water pool）．そこで，これらの違いを観測する東西の対照定点観測が望まれる．このように，赤道から北太平洋だけでも多数の観測点候補があり得る．大きな沿海である南シナ海での定点観測も有用であろう．少なくとも，世界の海域で10-20点の高度観測定点が各国で維持されると炭素循環研究の格段の発展につながる．ここでいう海洋観測定点では，後に述べるブイ観測を併用するとしても，隔月程度の観測船来訪を行い，物理計測に加え，炭酸系，主要栄養塩，微量栄養塩，植物プランクトン現存量と基礎生産量など主要な物質循環に関連する項目を網羅する生物化学観測を行う必要がある．

これらの海洋定点観測は，相当程度の高度観測機能を有する観測船が，定点観測点を訪問して観測すべきものである．この研究分野推進には，大型多機能観測船の必要なく，観測定点とできるだけ近い研究拠点から，中型観測船（例えば500-2000トン）を用い隔月以上の頻度で観測を進めるのが理想的である．このような中型観測船は，経済水域内などの観測業務にも適するものである．ただし，高緯度海域の冬の観測には，拠点から比較的近い海域でも大型観測船の助けが必要なことがあり，それらを組み合わせる体制を整えることが，今後，高緯度観測定点を維持するための必要な条件である．

SOOPの利用

従来の観測船観測によって頻度を高くすることが難しかった広い海域の繰り返し観測の場合，海洋表層の観測に限定されるが，定期貨物船の利用が有効であることが明確になった（SOOP 貨物船）．従来から，水温観測のために，定期貨物船の航海中に投げ込み型センサ（XBT）による計測を依頼する国際共同プログラムが実施されてきて，海洋観測に大きな貢献をしてきた．このプログラムは，後で述べるARGOフロート（漂流型水温・塩分鉛直分布自動計測計）に置き換えられつつあり，観測協力船の数は減少しつつある．

ここで，地球温暖化研究，炭素循環研究のための観測を考えると，海洋の二酸化炭素吸収フラックスの季節変化と海域分布を明らかにすることができる海洋表層二酸化炭素分圧を計測することが最も重要である．これは，前述XBT観測のように船に特段の設備を加えずに実施できる簡易観測ではなく，海水の取り込み設備と計測装置を必要とする高度観測である．船への観測装置の設置には工事が必要となるが，船内で海水そのものを計測できるようになるので，貨物船であっても化学成分・生物に関する項目の測定も可能となる．この意味で，高度な貨物船観測では，二酸化炭素分圧の他に，水温，塩分，栄養塩，植物色素など表層海水の物理生物化学パラメータを計測することが望まれる．塩分・植物色素は，

採取海水持ち帰り分析と船上連続計測装置の両者で測定できる。栄養塩は採取海水の持ち帰りが従来法であるが、船上連続計（硝酸、ケイ酸など）が実用段階になってきた。また、高度な二酸化炭素分圧観測の場合、大気中の二酸化炭素濃度計測に配慮を行うと質の高い大気観測を行うことができる。海水の二酸化炭素分圧計測とは別に専用の二酸化炭素濃度計測装置を用いるのが理想的であるが、兼用器を用い計測することも可能である。水温・塩分の連続計測と二酸化炭素分圧観測のみに絞る簡易観測で協力貨物船の数を増やす手段も考えられる。

貨物船を用いた二酸化炭素分圧観測では海水を流しながらの計測になるため、その観測維持のためには従来観測員の乗船が必要であった。しかし、機器の自動化、船員を運転要員として雇用すること、船の全面協力が前提ではあるが、通常船員に観測を依頼することで人的経費削減が図られている。ただし、専門家が操作にあたらぬ場合には、寄港地で観測機関によるメンテナンス作業を十分に行い測定の質を維持することが重要である。主たる観測協力船の対象は大洋横断国際航路貨物船であり、太平洋、大西洋、インド洋の海域カバーを国際協力分担で目指すべきである。そのために、GCP と SCOR（海洋研究科学委員会）/IOC（政府間海洋学委員会）CO₂ パネルのもとで、IOCCP（International Ocean Carbon Coordination Project）が国際協力の展開を行っている。

現在、二酸化炭素分圧装置を搭載している貨物船が世界で7隻程度運行されている。機器搭載して観測を行った履歴のある貨物船は20隻程度になる。貨物船では、就航航路の変更がしばしば起こるので、その際に観測継続を断念せざるを得ない。このような場合、貨物船への機材積み替え、観測海域が変更が生じる。緯度10度間隔（主として東西航路を考えたとき）で三大洋をカバーし、月から隔月の観測頻度を実現するには20から30隻ほどの貨物船を世界で維持しなくてはならない。南緯40度以南では、運航貨物船を確保することは不可能であるが、それ以北、北緯60度以南には何らかの定期貨物船がある。

また、観測協力船として、沿海航路を利用することも考えるべきである。この場合、毎週、毎日のようなデータ取得が可能となる。我が国には周囲をほぼカバーするフェリーや国内定期航海貨物船航路があるので、沿海の二酸化炭素吸収の高頻度観測として有効であり、あわせて大気二酸化炭素観測網を構築することも可能である。

一方、各国の観測船で、二酸化炭素観測が主要ミッションではない場合も二酸化炭素分圧装置を設置したまま測定を続けることが行われている（SOOP観測船）。米国では4隻のNOAA関連貨物船が二酸化炭素機器を搭載して、他の目的の観測航海を含めて観測を続けている。わが国では気象庁、JAMSTEC（海洋研究開発機構）、海上保安庁、水産庁などの所属観測船、南極観測船「しらせ」等で他の目的航海でも二

酸化炭素濃度観測を行っている例がある。国内観測船・研究船で、二酸化炭素機器が設置済み、あるいは、頻りに設置される船の数は10隻程度である。観測船では船内で利用できる海水ラインが既設であることが多く、機器設置は極めて容易である。また、関連航海においても運転の依頼は比較的簡単である。多くの観測船の場合、気象庁・水産庁で行っているような同一定線観測を繰り返して行うことは困難であり、時空間変動解析にはデータのデータベースへの集約が必要である。

ブイの利用

従来から海上気象や海流の観測で海洋観測にブイが利用されてきた。その場合でも固定点に係留するタイプと漂流するタイプがあり、それぞれ、データや試料を回収するタイプとテレメトリでデータ回収するタイプ、系を回収再利用するタイプと使い捨てタイプがある。以下に、現行のブイ観測を比較した。

炭素循環関連研究観測として、固定点観測としては、セディメントトラップ実験が1980年代から精力的に実施されてきた。表層での生物生産粒子の沈降量とその化学成分の測定から、沈降中の分解などを観測するものであり、間接的ながら表層の生物生産の経時変化を推定することができる。また、表層の生物生産物の海洋循環を解析する情報となる。全海洋の沈降粒子の情報を収集することには意義があるが、プロセス研究の中で行われるべき観測研究である。

係留系の設置や回収には観測船のシフトタイムが必要となり、設置、回収のため同じ点に繰り返し行く必要がある。従って、先に記述した海洋時系列観測と組み合わせで係留センサ観測が実施されると効率的である。既に海洋時系列観測を支援するために化学センサ類を持つ係留ブイ観測が行われており、特にバミュダ時系列点は、係留系のテストサイトとして共同利用されている。

係留ブイ観測で生物・化学測定が行えると、時系列観測の観測航海間の現象を連続的に把握できる。その進歩によって、観測船航海頻度が低減されると有効である。まずは表層二酸化炭素分圧計測をブイで行うことがターゲットである。米国では二酸化炭素濃度計測装置として、分光式と色素式の2方式が開発され、係留ブイでの使用実績を増やしつつある。分光式は表層観測用に限るが、色素式は200m程度までの深度ならば表層下での使用も可能である。後述べるフランスの色素式二酸化炭素分圧計の係留使用も可能である。栄養塩計測装置は、イギリスの開発品で外洋係留ブイによる実用化実験が行われている。これらの機器のいくつかは、商業ベースで生産され始めているが、安定な性能が確立されたものではない。最近、二酸化炭素濃度測定相互比較実験に参加し、船上観測装置との比較データが得られた。

表 1-1 海洋炭素循環研究に関する現行のブイ観測の比較

例	試料 回収	テレ メト リ	表層係留 / 表層 下係留 ×	再利用 / 使いす いて ×	
1 固定点		×	×		単純な中深層係留系, 炭素循環観測では主としてセディメントトラップで沈降粒子試料回収を行う, 各国の研究機関が運用中である, センサ類を加えることで化学計測を拡大することが今後の発展
2 固定点	×	ま たは ×			米国モンタレー湾海洋研究所では二酸化炭素濃度計測センサを沿岸域で係留利用している, 沿岸係留ではテレメトリは必ずしも必要でない
3 固定点	×				大型の海上気象観測ブイには二酸化炭素観測を加えることが可能で, 日本では気象庁大型ブイ(現在はブイ自体撤去済)で実施歴あり, 米国は赤道海域の TOGA ブイに二酸化炭素, 栄養塩, 酸素など化学センサを取り付けて観測継続中
4 固定点		×			JAMSTEC が現在実施中の多項目観測ブイ, 近隣の別系ではCTD 昇降システムによる水温塩分鉛直プロファイル繰り返し観測を実施, 生物化学係留系では, 亜表層海水試料の採取(全炭酸・栄養塩などの持ち帰り計測), 表層基礎生産の間欠測定(試料持ち帰り計測), セディメントトラップ試料の採取を意図, ブイが海面に出ない亜表層係留なので, 電波テレメトリは不可能, 測器が本来位置を離れて浮遊漂流すると, テレメトリ発信
5 固定点					EU 計画の観測ブイ, 表層の二酸化炭素・栄養塩観測, セディメントトラップによる試料採取をねらって実施中
6 固定点			(間欠浮 上)		水中ウインチの利用で, 周期的にセンサが亜表層(200 m)から表層に浮上, 浮上中に基礎生産量センサが作動, CTD とともに計測, 科学技術振興機構/名大研究課題で実験中, 浮上時にデータテレメトリを行う
7 漂流	×		(間欠浮 上)	×	ARGO フロート, 2000m水深付近を中性浮力で漂流し 2 週毎に浮上, 浮上過程で水温・塩分鉛直分布を測定し, 衛星経路でデータ伝送する, 4 年ほどの寿命を持つ使い捨てセンサで運用, 船舶からの投げ込みセンサによる水温観測(XBT ネットワーク)プログラムの後継観測として拡大中, 酸素センサを加えることを検討
8 漂流	×		間欠浮 上		化学 ARGO, ARGO に化学センサを加えることが検討されている, 浮上過程で計測を行う, 粒子状物質の計測には既に成功, 高価で使い捨てできない
9 漂流	×				二酸化炭素計測用漂流ブイシステムにフランスの CARIOCA がある, 1 年連続の漂流観測を南大洋で成功

物理的な観測として水温観測を広域で展開する目的で進められた XBT ネットワークは, 塩分センサを持つ XCTD 使い捨てセンサが高価であること, 投げ込み型では塩分計測の正確度の維持が容易でないことが理由で, 漂流ブイによる ARGO 観測に置き換えられた。中層を漂流し, 一定周期で浮上する ARGO の場合, 通常の CTD と同じセンサが利用できるため, 特に塩分測定精度, 確度が高まった。また, ブイそのものの動きが中層流を示す。各国の協力で全海洋に 3000 個のブイを展開する計画である。現在, 1000 個以上のブイが投入された。

漂流型計測器運用における最大の問題点は, 測器

の捜索, 回収を行うことである。いかに, テレメトリによって測器の位置情報を送信してきても, その場に観測船が向かい回収することは, 膨大なコストになる。篤志船に回収を依頼することも困難なことも多いし, 本来, このような観測の大きな意義の一つに, 商船航路や漁船の活動域から外れたところでも観測を可能にすることにある。ARGO はデータ転送のテレメトリの実現と低価格化で使い捨てを実現し, 運用を圧倒的に簡易にした。さらには, 測器の投入も観測船に限らず, 飛行艇, 商船, 漁船などの利用も可能である。

水温, 塩分観測も海洋炭素循環モデルの構築に重

要であるが、これからの漂流ブイ観測でも二酸化炭素と化学成分を計測することが重要になってきた。この目的で ARGO に搭載する(piggyback)センサの開発が行われ、光学センサによる粒子計測には成功するようになった。ただし、二酸化炭素分圧の測定を浮上の過程で行うには水中で動作し応答が速い連続センサが必要で、技術的な問題が残されている。ARGO 浮上時にのみ、表面海水の二酸化炭素分圧を測定するセンサ開発が必要だろう。ただし、使い捨て ARGO と組み合わせられる廉価センサを開発するのは、技術的に困難である。

漂流型ブイを用い二酸化炭素分圧の観測で最も成功しているのはフランスの CARIOCA センサであり、テレメータを備えたブイ本体と組み合わせて南大洋で 1 年間の長期観測に成功した。これに続く機器開発が各国で進められている。表層係留系による海洋表層二酸化炭素分圧測定に比べ漂流ブイによる測定は、強固な係留系の設置が不要なため低価格化実現の可能性はあるが、現在のところは、漂流化学計測システムはすべて高額であり、回収を前提としている。しかしながら、低価格化による使い捨てを目指すのは一つの方向である。また、科学計測システムの場合、センサドリフトの補正を行う意味でも、回収して再検定することは精度確保上必要であるが、ドリフトのない装置を開発することも目標となる。

衛星観測

衛星観測における海洋センサについては 3.7. での記事があるのでここでは一部パラメータに限定して現状を記述する。

海面水温センサは極めて有効になったが、海洋物理海洋循環研究にとって重要な塩分計測が、衛星センサでは困難なことが大きな問題である。海色スペクトルセンサからは表層付近の植物プランクトン色素量、懸濁物質、溶存有色物質などの情報が得られる。栄養塩、二酸化炭素などの化学成分を直接計測する方法はなく、これらを水温、植物プランクトン色素量から推定するデータ解析が行われている。海域によっては極めて高い相関式が得られる場合もあるが、現段階では船舶観測を補うようなデータ利用に至っていない。これら化学成分と比較して、基礎生産量は、より水温、植物プランクトン量と直接的関係にあると考えられ、衛星や雲モデルからのデータセットが得られる日射量、水中光減衰率、混合層深度（気候値分布で近似できる）を組み合わせ、現実的な推定を行う努力がなされている。また、海面風速は海面での二酸化炭素ガス交換係数に関わるので、炭素循環研究に重要なパラメータであり、その衛星センサが重要である。このためには、衛星アルゴリズムをキャリブレーションするための船上観測による基礎生産データ収集が今後も必要である。

近い将来、大幅な技術革新があるとしても、衛星センサから化学成分そのものを直接測定する技術の進展は見込めない。海洋における物質循環研究には、

衛星観測の直接評価できる水温や海色等のパラメータと観測によって得られる生物・化学パラメータとの相関解析に基づき、より高密度の時空間分布を評価する手法の開発が有効であろう。

断面観測

海洋断面観測で測定を行うべき成分で最も優先されるものは、水温・塩分・酸素・主要栄養塩・炭酸系（全炭酸、アルカリ度）であり、追加的に、フロン類・放射性炭素・炭素安定同位体比のようなトレーサ観測が求められている。CLIVAR (A Study of Climate Variability and Predictability) では、海洋断面観測の各国のプランを整理し、WEB に掲載している

(http://www.clivar.org/carbon_hydro/index.htm) .

観測データの収集とモデルの高度化から、将来の急激な気候変動を引き起こす要因となる海洋循環の急激な変化を予測するためには、海洋断面の物理計測の密な繰り返し観測がまず重要である。この場合、水温・塩分の精密計測が第一義的に重要であるので、現在予定されている今後の断面観測でも、化学計測を含まないものも半分程度はある。

断面観測で化学成分を測定するには、船上の持ち込み機器が多くなり、熟練観測員を確保して航海を行う必要があり、長期航海が可能な例えば 2000 トン以上の大型の観測船が必要である。CLIVAR のサブグループである CLIVAR Carbon Hydrographic Section は、IOCCP とともに、CO₂ 計測を含む海洋断面観測を国際協力で進める活動を行っている。

特に、断面繰り返し観測(Repeat Hydrography)は、重要測線の 5 年から 10 年の繰り返しを行い、その間の濃度変化を検出、人為起源 CO₂ の蓄積量変化を求めることを、大きな目的としている。そのため、異なる観測航海のデータを比較する作業が必ず必要になる。海洋の比較的浅い層での CO₂ 増加量は年間 0.05% 程度であるので、10 年でも 0.5% の比較を行うことになる。また、この比較の際には、自然の作用として沈降粒子分解で回帰する無機炭素を栄養塩データから補償する必要があり、そこから新たな誤差も発生する。この問題を解決するために炭酸系は共通の標準試料（スクリップス海洋研究所調製による）の使用が行われるようになり、各国の精度確保に大いに貢献し、データ比較の現実性が極めて高まった。また、海洋プロセス研究推進には、海洋断面観測とタイアップして、より詳細が知られていない化学成分計測を進めることが有用である。これには、粒子状・溶存有機炭素、微量金属元素、微量放射性元素、人工有機化合物などがある。

観測船・研究船による研究観測

上記 5 項目では海洋における温暖化研究を重視する立場から、観測船を利用することや、観測船以外のプラットフォームで観測する分野を主に、これから進めるべき観測研究のレビューを行った。しかし

ながら、これは今後の海洋観測において、観測船・研究船のニーズが減ったわけではなく、それ以外のプラットフォームの新しいニーズが加わったと考えられ、観測船利用と、それ以外のプラットフォームの利用を、それぞれ有用な分野を仕分けつつ、関係づけながら進めてゆくべきものである。例えば、
、
のブイ設置・回収などは観測船で実施する手法が通常であるが、
は観測船以外のプラットフォームによる海洋観測の例である。
のブイ観測の場合も、設置・回収に観測船を利用するにしても、観測船が現場に不在の時も観測を継続するという方法であるし、ARGO はさらに発展的に何らかの方法で投入さえすれば、継続的観測が可能となる新たな手法である。

から までにあげた観測のタイプでは、最終的な観測形態をオペレーショナルな観測に持ち込み、国内、国際的に多機関の協力でグローバルなデータ取得を進めるべきであると考えられるが、海洋研究においては、個別的な観測が必要な分野も多い。観測船によるオペレーショナル観測の際に、同時に個別観測研究を実施することも可能である。海洋炭素循環の分野では、例えば、鉄など微量元素類の生物生産への影響を把握するようなプロセス研究的観測も必要であるが、特別な計測装置や海水採取器具などを必要とするので、
の海洋断面観測のように限られた航海日程の中で多数の観測点をこなす必要がある観測航海では同時実施が困難な場合もある。また、
のような海水吸引ラインによる貨物船観測で、微量元素類の表層海水分布の観測を行うのも困難な場合がある。このような、技術的に高度な観測において、あるいは、将来定常観測に持ち込むべき技術開発において、観測船・研究船はその特性を發揮すべきである。

1-3-6. 雪氷観測

地球上には、南極とグリーンランドを覆う厚さ 3000m を超える氷床、ヒマラヤやアラスカなど山岳地域に発達する氷河、北極海や南極海の広大な海水、高緯度地方の積雪や永久凍土など、広大な雪氷圏が存在する。地球温暖化に対するこうした雪氷圏の重要性は、正のフィードバック機構による地球温暖化の加速と、地球温暖化による雪氷圏の変化が及ぼす環境への影響の二点に集約される。地球温暖化に果たす雪氷圏の役割として、北半球ではほぼ北緯 50 度以北に $46 \times 10^6 \text{ km}^2$ の規模で広がる広大な季節積雪や、北極海を中心にオホーツク海まで最大 $15 \times 10^6 \text{ km}^2$ にも拡大する海水のアルベド・フィードバックが重要である。

過去 30 年間、北半球の積雪面積は 10% ほど減少している。特に、1980 年代半ば以降の減少、また季節としては、融雪期である春における減少が顕著である。融雪期の顕著な積雪面積の減少は、積雪域のアルベド・フィードバックが働いているとの考えがある。積雪域の面積については、衛星リモートセンシ

ングで詳細な観測が可能になってきたが、水循環の物理量として重要な積雪水量への変換に係わる課題が残されている。北半球の最も広大なツンドラ域である北極ロシアは、1990 年以降観測点が閉鎖され、広大な観測空白域になっている。地球温暖化が進行するこの地域の積雪水量の変化は、北極海への淡水供給量の変化を通じて海水の形成に影響を及ぼす他、融雪時期の変化に伴う永久凍土の融解量の変化を通じて凍土からの二酸化炭素やメタンなど温室効果気体の放出量の変化を引き起こす等、広範囲な気候への影響を及ぼす可能性がある。このため、北極ロシアに観測拠点を設置し、降雪量、積雪深、積雪密度、融雪量などの積雪観測の他、永久凍土の温度分布などの雪氷モニタリング観測を実施することは重要である。観測拠点では、温室効果気体のフラックスや高層ゾンデによる対流圏・成層圏気象などの観測、大気汚染物質による積雪アルベド影響観測、ツンドラ植生の炭素循環観測など、地球温暖化に関する総合モニタリング観測を、我が国の主導で推進する必要がある。また、北極海をはさんで北極ロシアの反対に位置する北極カナダにも地球温暖化に関する総合モニタリング観測拠点を設置し、両地点の比較観測から北極振動などの実態解明に貢献することも重要である。

過去 30 年間に北半球の海水面積も減少傾向にあり、その速度は 10 年間で 3% ほどの割合である。北極海の海水面積の減少を季節で見ると 8 月から 9 月に特に顕著である。大陸における冬から春の温暖化が海水の融雪時期を早めた結果であるとか、北極海での低気圧活動を活発化させる大気循環場（北極振動）の変化に起因するとの仮説がある。特に、1997 年以降、海水面積の減少が著しい海域は、太平洋側北極海で、夏季のベーリング海水の移流に起因している可能性がある。海水の形成は、大気-海洋-流入河川水の相互作用の結果でもあり、将来予測のために海水変動のメカニズム解明を総合的に取り組む必要がある。特に、海水分布の南限に位置するオホーツク海は、我が国主導で海水関連の観測が実施されており、今後、河川による淡水供給と海水形成、海水形成と深層水形成、海水藻類と二酸化炭素の生物ポンプメカニズムなどを解明するために観測を高度化することが重要である。

頻発する北方針葉樹林の火災や人間活動を起源とする北極の大気環境汚染物質は、春には Arctic Haze（北極煙霧層）を形成し、広域にわたり北極に拡散している。大気汚染物質の積雪や海水への沈積は、アルベドの低下により融解を促進し、さらにアルベドを低下させると言うフィードバック機構が働き、北極域の温暖化促進に一定の役割を果たしている可能性がある。また、過去数十年の温暖化は、シベリア南部で冬期の最低気温の急激な上昇で特徴付けられるが、そのメカニズムとして、接地逆転層内に漂う大気汚染物質が夜間の氷霧形成を促し、氷霧が放射冷却を抑制するシナリオが考えられている。北極

域の大気汚染物質の研究観測は、雪氷の気候への影響解明の観点からも重要である。

地球温暖化が雪氷圏の変化を通じて環境へ与える影響の研究も重要である。地球温暖化により、過去100年、ほぼ全ての山岳氷河は縮小し、海面上昇の16%に寄与したと推定されている。特に、1980年代以降の縮小が顕著で、その海面上昇への寄与はさらに大きくなっている。山岳地域の氷河は天然のダムとしての役割を果たすので重要な水資源と言える。その役割は、特にアジア乾燥地域での人間活動に大きな役割を果たしている。山岳氷河の中で最も縮小が激しいのは、アジア高山地域である。ヒマラヤ山脈では、温暖化に伴い大規模な氷河の末端に氷河湖が形成されており、氷河の縮小とともに近年その規模を拡大し、GLOF (Global Lake Outburst Flood) と呼ばれる氷河湖決壊により下流域に大規模な災害を引き起こしている。ヒマラヤ山脈を中心としたアジア高山地域の氷河や氷河湖決壊は、長年にわたりわが国が主導している研究であり、現地の住民の生活環境に及ぼす影響や地球規模の海面変動に及ぼす影響が大きいので、さらに研究観測を継続することが重要である。

氷河や氷床は過去の気候や環境変動の優れた記録媒体である。アイスコアから観測時代以前に遡る長期の気候・環境シグナルを抽出し、過去の詳細な事例解読は、地球温暖化の重要な研究アプローチである。アイスコアに記録された温暖化と乾燥化や森林火災、海水域変化などの環境変化の関係を調べることで、多地点のアイスコア比較により温暖化と北極振動など気候モードとの関係を明らかにすることが、地球温暖化研究に大きな貢献となる。

一方、南極は南極半島周辺を除き、顕著な温暖化は見られない。しかし、南極海の海水面積も1950年を境に10年程度の振動をしながら20%も減少したとの報告が最近出された。この報告は、海水の衛星観測の結果に加え、氷床掘削コア中の海水規模指標シグナルであるアイスアルジー起源の物質を用いた結果である。海水の10年程度の振動は、長期にわたるモニタリング観測の重要性を示している。また、南極域で温暖化が進行した場合、海洋からの水蒸気の蒸発の増大に伴う降雪量の増大が氷床の質量を増加させ、結果として海面低下を引き起こすという数値シミュレーション結果がなされている。南極氷床の質量の増減は、地球規模で大きな海面変動を引き起こす可能性があるため、この数値シミュレーション結果の検証観測は重要である。南極氷床の質量収支は、積雪量、融解量の静的な収支の他、気候変化に数千年スケールの時間応答をする氷床流動による氷の海洋への流出と言うダイナミックな収支も加味せねばならないので、総合的な流域雪氷モニタリング観測が重要である。以下に地球温暖化に関わる雪氷圏観測で、わが国の貢献が期待できる観測課題を提案する。

雪氷圏モニタリング観測

衛星リモートセンシング観測：海水、積雪、氷河域の変動観測

極温暖化進行地域での地上観測：広大な観測空白域である東シベリア域に観測拠点を設置し、降雪、積雪、融雪、永久凍土などの雪氷モニタリング観測を実施するとともに、大気、大気汚染物質、ツンドラ植生の総合観測（ロシアとの共同観測）。衛星地上観測。

極寒冷化進行地域での地上観測：北極カナダに観測拠点を設置し、積雪、海水、海洋、大気汚染物質、ツンドラ植生の総合観測（カナダとの共同観測）。衛星地上観測。との比較観測。

研究観測（プロセス研究観測）

海水変動海域での観測：オホーツク海、北極海太平洋セクター、南極海における海水、海洋、生物生産、二酸化炭素循環観測

積雪アルベド動態観測：シベリアでの大気汚染物質沈着と積雪アルベド変化のプロセス観測。広域積雪観測による冬期の大気汚染物質の広域拡散観測。

検証観測

温暖化に伴う南極氷床の質量増加シミュレーション検証観測：南極氷床の流域を設定し、その質量収支の総合観測。

1-3-7. 衛星観測

衛星による二酸化炭素濃度観測

衛星からのグローバルで高頻度の二酸化炭素濃度積分濃度の高精度測定は、陸域海洋の二酸化炭素フラックスを決めるために極めて重要な他の方法にない価値をもつ。この観測は直接測定やボトムアップモデルで評価するのと独立に二酸化炭素フラックスを決めるというユニークな意義をもつ。

短波長の赤外光を使うと、大気を地表面まで観測できる長所がある。しかし雲やエアロゾル粒子は重要な妨害因子であり、10km程度の瞬時視野角では多くのデータが使えない可能性がある。長波の観測は主として大気上層部を把握するもので、ここでは地表面の発生や吸収の信号は強度が（熱帯を除いては）弱く勾配が小さいという欠陥がある。

2007年にはNASAのOCO (Orbiting Carbon Observatory)が、2008年には環境省、宇宙航空研究開発機構(JAXA)、国立環境研究所の3機関が開発するGOSAT (Greenhouse gas Observing SATellite)が、ともに近赤外の太陽光反射により二酸化炭素のカラム積分濃度を高精度で測定するセンサとして打ち上げられる予定である。これらは長期の二酸化炭素モニタリングミッションの行方を占うものである。

光合成が活性な時間的/空間的条件下での系統的な観測となる(例えば、夜間と日中、晩秋や高緯度地域のデータ不足)から、推定するフラックスにはバイ

アスが入り込む可能性がある。

その他の衛星観測と測定センサ

IGOS（統合地球観測戦略）報告書では衛星に強く依存し、重要な観測項目として以下の項目を挙げている。

【大気】降水量，放射収支（太陽放射含む），上層大気温度（MSU 放射輝度含む），風速&風向（特に海上），水蒸気量，雲特性，二酸化炭素，オゾン，エアロゾル特性

【海洋】海面水温，水位，海氷，海色（生物活動のため）

【陸面】積雪被覆，氷河，氷帽，永久凍土及び季節凍土，反射率，陸面被覆（植生タイプを含む），FAPAR（光合成活性放射吸収），森林火災

今後 10 年間に我が国が早急に開発・整備すべき温暖化研究に関わる観測を目的とする観測衛星およびセンサについて以下にまとめる。

表 1-2 観測衛星およびセンサについて

放射強制力に関わる観測：温室効果ガス，雲・エアロゾル・水蒸気，氷床など温室効果ガス等
温室効果ガス

観測対象	観測衛星	センサ	利用方法
CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, O ₃ , その他(CO, N ₂ O, CFC)	GOSAT	短波長赤外分光計, 熱赤外分光計	地上観測, 輸送モデルと併せて精度達成

雲・エアロゾル

観測対象	観測衛星	センサ	利用方法
エアロゾルオンゲストローム指数	ADEOS-II 後継機	GLI 後継機	エアロゾル発生源の推定
エアロゾル光学的厚さ	"	"	エアロゾル分布・動態把握
雲光学的厚さ	"	"	放射収支・放射強制力の推定, 相互作用メカニズムの解明
雲粒子有効粒径	"	"	"
雲種別・雲量	"	"	放射収支・放射強制力の推定
雲頂高度	"	"	"
雲頂温度	"	"	"
雲水量	"	"	"
雲エアロゾル 3次元構造	EarthCARE	CPR	"

気象・海象

観測対象	観測衛星	センサ	利用方法
分光放射輝度	GOSAT	短波長赤外, 熱赤外	
気温	"	熱赤外	
大気中の水蒸気量	ADEOS-II 後継機	AMSR 後継機	
雲水量	"	"	
降水量	GPM, ADEOS-II 後継機	DPR, GMI, AMSR 後継機	

雪氷圏

観測対象	観測衛星	センサ	利用方法
積雪・海氷分布	ADEOS-II 後継機	GLI 後継機, AMSR 後継機	
海氷密接度	"	GLI 後継機, AMSR 後継機	
積雪深	"	AMSR 後継機	
積雪粒径分布	"	GLI 後継機	
積雪不純物濃度	"	"	
雪氷表面温度	"	"	

温室効果ガスのシンク・ソースの解析に必要な陸域・海域生態系および土地利用など：
陸上生態系

観測対象	観測衛星	センサ	利用方法
植生分布・植生分類	ADEOS-II 後継機, ALOS	GLI 後継機, AVNIR-2, PALSAR	基礎生産推定
正規化植生指標, 拡張植生指標	"	GLI 後継機, AVNIR-2	"
基礎生産量	"	"	
森林バイオマス	ALOS	PALSAR	炭素ストック

海洋・海象・海洋生態系

観測対象	観測衛星	センサ	利用方法
正規化海面射出輝度	ADEOS-II 後継機	GLI 後継機	
海面水温	"	", AMSR 後継機	
クロロフィル a 濃度	"	"	
海洋基礎生産力	"	"	
海上風速	"	AMSR 後継機, SeaWinds 後継機	

土地利用・土地被覆

観測対象	観測衛星	センサ	利用方法
土地利用	ADEOS-II 後継機, ALOS	GLI, AVNIR, PALSAR	
土地被覆	"	"	
植生分布	"	"	
土壌水分	"	AMSR 後継機, PALSAR	

1-3-8. 人為負荷統計

温室効果ガスの排出インベントリの精度を向上すること。現在、年ベースで国全体の値として集計されている統計を、月ベース、少なくとも県単位の統計として集計する必要がある。東・東南アジアのインベントリ精度の向上への協力が重要である。現在の温室効果ガス排出の国別インベントリを UNFCCC に提出するために実施されており、排出の実態や削減効果を把握するためには不十分である。現在のセクター分類のうち、幾つかは残差として求められている。これらのデータ収集の方法を検討し、その実施体制を早急に確立する必要がある。また、実際の計測により推計精度を改良する必要がある。途上国の温室効果ガス排出インベントリ改良のため、実態把握、現場に適した方法の開発、キャパシティ移転などの協力が必要である。

1-3-9. 生態系影響変化

森林火災と土地利用変化

通常の森林は炭素を吸収しており、十分成熟した森林は収支が均衡している。森林全体の収支を考える上で、火災による炭素放出は大きなウエイトを占

める。火災による擾乱中に放出される炭素の量を推定するためには、火災の分布と焼失面積。火災の場所は日のステップで、面積を月の間隔で観測する必要がある。

火災焼失や農地の自然生態系への回復にかかわる炭素のフラックスを評価するためには、土地被覆の変化を 1 km の空間分解能、5 年間隔でサンプリングを実施する必要がある。我が国では森林火災の規模・頻度は小さい。東南アジアはエルニーニョ等の気候変動とリンクして定期的に大火災が起こっており、シベリアでは火災が増加している。森林火災の研究の遅れている重要な地域での観測を実施していくことが国際的に我が国に期待されている。土地被覆変化(5 年間隔で 1 km の分解能)や火災面積(月単位の時間分解能)は炭素循環に大きな影響がある。土地被覆変化観測では森林から非森林への遷移をもっと高い分解能(25 m)で行うことも必要である。観測システムには、衛星システムを適切に地上探査(例えばフラックスタワーサイトで)と組み合わせ改良し、光合成活性を推定するための生物物理量(LAI, fAPAR, 日射や土壌水分に関連する情報)をシノプティックスケール(1~7 日)で、大陸全体をカバーして

実施することを含む。

二酸化炭素や気温上昇に対する生態系の応答

陸域での炭素収支の将来予測のためには、二酸化炭素濃度増加と炭素収支の変化、気温や降雨など将来変動が予想されるパラメータに対する応答などの研究が必要である。その一つの手段として、二酸化炭素濃度増加や気温上昇の条件を人為的に作り出し、単純化した植物系や自然の複雑な生態系の応答を測定する必要がある。これらは研究として実施されているが、数年にわたる影響は単年度とことなること、窒素など他の条件が制限因子に転化する可能性、植物の化学的組成変化の可能性、植生の応答は種の競争や食物連鎖など複雑であり長期の応答を見る必要があるなど、長期モニタリングに近い観測実験が必要であるとの認識も広がっている。

1-4. 今後 10 年間程度の取り組みの重点事項

1-4-1. 国際協力・観測の先進性などで我が国として優位な観測項目および観測域

今後 10 年の地球温暖化に関して優先的に実施する必要がある観測を考えた時、先に挙げた地球の温暖化をモニタリング、地球温暖化のプロセスの理解、地球の温暖化が地球環境や生態系に与える影響の監視と評価という 3 つの観点が重要である。また、我が国が先行している観測分野・項目並びに国際協力の上で我が国が優位な観測項目・観測域を考慮する必要がある。国際協力ではアジア、オセアニアでの観測協力の強化が国際的にも要請されている。このような観点から、各観測区分での項目を精査し、観測・分野および項目の絞り込みを行った。さらに今後 10 年の地球温暖化に関する観測のために必要な技術開発についてもその優先項目を検討した。

大気組成観測

東南アジアの地上観測ネットワークの充実

現在、地上での温室効果ガスの連続観測ステーションは 40 箇所あり、フラスコサンプリング分析を行っている場所は 100 ヶ所ある。しかしながら、アフリカ・東南アジア・中南米ともに観測の空白域となっており、熱帯域での炭素収支を推定する上での課題となっている。中南米については米国の支援で観測点が増えつつあり、我が国が積極的に東南アジアでの観測網の充実のために努力することが必要と考える。従来の途上国支援では精緻な高度な計測機器を導入してもその後の消耗品の補給が途絶え、さらには近年の電子部品に共通しているが故障しても直すことができず、観測が継続できない例が多い。このために、標準ガスなどの消耗品を 5 年間は必要とせず、電力使用量を抑制し新たなインフラを必要とせず、一般民生部品や修理可能な電子部品の開発を進め、自動化と IT 通信により特別な訓練がなくとも維持管理を可能である次世代システムを開発し導入する必要がある。また、データは現地のス

タッフが解析を行うよう研修を行うことが重要である。

民間航空機による温室効果ガスの高度分布観測ネットワーク

我が国は、航空機による温室効果ガスの高度分布モニタリングを世界に先駆けて実施し、温室効果ガス濃度の年変動や陸域生態系との相互作用などに関する重要な知見が得られることを明らかにしてきた。近年、米国や EU でも航空機モニタリングを充実させる方向にある。

しかしながら、一般にチャーター機による観測は経費が高く、高い頻度でグローバルな観測を長期に継続することは困難である。そこで現在、民間旅客機に二酸化炭素の連続測定装置を搭載するための機器開発が実施されており、安全性を保障したシステムが開発される予定である。開発されたシステムを航空機に設置し、グローバルに観測網を形成する。高度分布という他に無いデータが得られる点が特徴であるが、更に、国際的な協力のもとアフリカや中東など治安の悪い地域や、測定器の維持管理が困難な場所での観測に応用していくことが重要である。

雲・エアロゾル・放射をめぐる物理過程に関する観測

大気における、雲・エアロゾル・放射をめぐる物理過程に関する理解を進めることが最重要課題であり、エアロゾルの放射特性と化学組成の関係といったエアロゾルの化学的特性の理解も重要である。観測からの貢献としては、従来の気象・海象の観測に加えて、衛星、航空機などによる観測手段を導入して、放射収支など放射の物理過程、三次元雲分布、三次元エアロゾル分布を把握する観測が必要と考えられる。従来の気象、海象の観測体制も引き続きこれらに貢献し続ける重要な役割を引き続き担う必要がある。

陸域観測

タワーフラックス観測

陸域生態系による大気からの二酸化炭素の吸収・放出は、系内での炭素循環とそれに影響を及ぼすさまざまな要因に支配されるが、まだ解明されていない点が多い。IGBP, GCP などの国際プロジェクトを背景に、アジア域の代表的な陸域生態系においてタワーフラックス観測を実施し、大気 - 陸域生態系間の二酸化炭素、顕熱、潜熱フラックスを長期連続観測することが必要である。

生態学的な調査・観測、生態系の長期モニタリング

生態学的な調査・観測、生態系の長期モニタリング等を、タワーフラックスサイトに集中的に配置し、植生の変化を視野に入れた陸域生態系の二酸化炭素の吸収量とその変動要因を解明する。アジア域に特

微的な陸域生態系の炭素循環に与える水の影響を考慮し、水循環観測との統合観測ステーションを東南アジアに充実させていく必要がある。

海域観測

観測船や民間商船等による海洋表層の二酸化炭素観測の広範囲・高頻度モニタリング

全海洋の二酸化炭素吸収量とその変動について理解には、海洋表層の二酸化炭素観測を広範囲に高頻度で行うことが必要で、観測船に加えて民間商船などを利用する定常観測体制を築くことが重要である。この分野で我が国は、太平洋観測と国際研究連携に重要な貢献を続けており、北太平洋域のみならず、外国機関との連携の下に南太平洋・インド洋の海域観測を進めることが重要である。一方、極域などを含む商船運航のない海域ではこれらの海域で運航される観測船を活用してカバーすることも重要である。今後 10 年間で商船 10 隻程度と諸機関観測船通常航行中の表層二酸化炭素観測体制を整備しデータ集約を行う体制を確立する。さらに、これらのデータを国際的な研究連携のもとで統合を行うことが重要である。

南北太平洋と南大洋の海洋断面二酸化炭素観測

海洋断面観測の実施体制を強化し、南北太平洋と南大洋の海洋断面二酸化炭素観測を実施する。海洋の長期的二酸化炭素吸収を明らかにすることを目的とし、国際共同研究の観測方針に従った精度の高い計測を実施する必要がある。世界海洋の約 60 測線で 5 - 10 年毎の繰り返し観測を行い、海洋の二酸化炭素吸収量変化が明らかにする計画であるが、同時に、海洋大循環の変化という気候変動に多大な影響を及ぼす現象の検知も可能となる。国際分担として、我が国の研究機関の観測船が年 2 測線程度の観測実施を行う体制とその技術支援体制を確立する。

海洋時系列観測点の確立

年々変動と 10 年スケール超の長期変動を含む海洋環境変動の把握には海洋時系列観測が最も有効な手段である。気候変動予測モデルに必要な海洋の二酸化炭素吸収に関するプロセス研究と合わせ、海洋定点の繰り返し観測を観測船で実施する。国際分担として、西部北太平洋高緯度亜寒帯、中緯度、低緯度亜熱帯の 3 ヶ所で実施することが望まれる。観測船観測の密度を補うために、時系列定点に表層大型定置ブイを設置し、炭素循環に関わる主要なパラメータを連続計測する。

雪氷観測

東シベリア域と北極カナダにおける地球温暖化総合観測拠点の設置

地球温暖化が最も進行している北極域の雪氷圏は、正のフィードバック機構による温暖化加速と温暖化による雪氷圏の変化が及ぼす環境への影響が大きい

ため、重要な観測対象である。雪氷地上観測としては、観測極温暖化進行地域で広大な観測空白域である東シベリア域と北極カナダに観測拠点を設置し、衛星の地上検証観測としての降雪、積雪、融雪、永久凍土のモニタリング観測を行う。また、この観測拠点を地球温暖化総合観測拠点（スーパーステーション）と位置づけ、二酸化炭素など大気微量成分、高層ゾンデによる大気循環場、大気汚染物質、ツンドラ植生などのモニタリング観測も進める。海洋観測としては、北半球の海水の南限で温暖化が海水の形成を鋭敏に反映すると考えられるオホーツク海を中心に、海水分布の衛星検証観測、河川による淡水供給と海水形成に関わる観測を重点的に推進する。一方、我が国は南極昭和基地で温室効果ガスやエアロゾル等の大気組成観測を世界に先駆けて充実させてきており、北半球高緯度の対照区としての観測の継続・充実が望まれる。

ヒマラヤ山脈における氷河の縮小、氷河湖発達と決壊に関するモニタリング観測

山岳氷河の中で最も縮小が激しいヒマラヤ山脈では、わが国の研究者が長年主導的な観測を継続してきているので、この実績を背景に、温暖化による氷河の縮小、氷河湖発達と決壊に関するモニタリング観測を進める。

南極氷床の総合的な流域雪氷モニタリング観測

南極氷床の質量の増減は、地球規模で大きな海面変動を引き起こす可能性があるため、温暖化による降雪量の増大と海面の低下を示す数値シミュレーション結果の検証観測は重要である。南極氷床の質量収支は、積雪量、融解量からなる静的な収支の他、気候変化に数千年スケールで時間応答をする氷床流動による氷の海洋への流出と言うダイナミックな収支も加味せねばならないので、南極氷床の総合的な流域雪氷モニタリング観測を実施することが必要である。

衛星観測

大気中温室効果ガスの観測

二酸化炭素、メタンなどの温室効果ガス濃度の地理的分布・時間的変動を定量化することによって、その排出吸収源分布の推定や変動要因の解析を行い、将来の濃度変動予測精度を向上させることが重要である。このため温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT: Greenhouse Gases Observation Satellite）を早期に開発し、観測システムの実証、定常観測の継続を行う必要がある。この衛星には短波長赤外、熱赤外分光計等、観測目的に最適な観測センサを検討し搭載する必要がある。

陸上植生・海洋生物等の炭素循環観測

陸上植生の炭素貯留量及びフラックス量を求めるためには、二酸化炭素の排出・吸収源となる森林等

陸上植生のバイオマス量を定期的にモニターし変動を把握する必要がある。また植林、再植林、森林伐採等の人間活動を把握する手段として、高分解能の合成開口レーダ PALSAR を中心に、光学センサを併せて搭載する陸域観測技術衛星 (ALOS: Advanced Land Observing Satellite) を早期に打ち上げ、観測を開始・継続する必要がある。また、海洋生物による炭素フラックス量を求めるため、衛星の水色センサによるクロロフィル量の測定と観測船による現場測定を併せた観測を推進する必要がある。

雲・エアロゾルの放射強制力のグローバル観測

雲・エアロゾルの分布は時間的・空間的な変動が速く、温暖化予測の主たる不確定要因となっている。グローバルな衛星観測は、全球規模の気候変動実態の定量化を実現する。また長期モニタリングは、温暖化の影響及び予兆の検知に重要な情報を提供する。このため ADEOS-II の観測機能を継承・発展し、光学センサ (GLI) を中心に、マイクロ波放射計 (AMSR) 及び散乱計 (SeaWinds) を組み合わせた複合観測の早期再開・継続が必要である。併せて全球降水観測 (GPM: Global Precipitation Measurement) 計画の実現が必要である。

生態系影響観測

アジア域における災害被災地における継続観測の実施

地球温暖化に対応して加速する攪乱体制に対して脆弱性を持ち、かつ激変が予想される生態系については、特にここ 10 年スケールで観測を体系的に強化する必要がある。高頻度の攪乱によって、同一の定常安定状態への修復が妨げられる可能性が高いためである。エルニーニョ影響による東南アジア熱帯雨林(特にボルネオ島)の森林火災、シベリア・タイガの森林火災、および国内を中心とするモンスーンアジア域の台風・豪雨による自然植生倒壊などの被災地を対象として、攪乱の規模と頻度をカバーするように、継続観測サイトを設置する。サイトは、特に今後の変化が予測される植生(バイオーム)タイプの境界域(ツンドラとタイガ、常緑照葉樹林と落葉性冷温帯林)をカバーするように設置する。各サイトでは、攪乱後の各生態系についての回復過程の追跡観測を、植生の種組成と構造、現存量、純一次生産量、土壌の発達過程と栄養塩組成の各項目について経時的(最大限 1 年間隔)に行う。これらは、衛星観測および陸域炭素フラックスのベースライン観測と結びつけて実施する必要がある。

1-4-2. 今後 10 年で優先すべき温暖化観測のための技術開発

以下に今後 10 年間程度の取り組みの重点事項として挙げられた観測を実現するために優先的に取り組む必要のある技術開発についてまとめる。

土壌有機物観測手法の開発

陸域生態系における土壌有機物は巨大な炭素プールを構成しているが、その時間変化を観測によって把握する技術は確立されていない。また、長期に渡る土壌中への炭素蓄積に関連した難分解性有機物への炭素フラックスを、現時点で観測から精度良く求めることは難しい。土壌放出炭素フラックスのパラメタリゼーションにおいて、温度、水分条件以外の要因による影響、とくに土壌形成の履歴と土壌有機物蓄積などを考慮する必要性が指摘されている。パラメタリゼーションを向上させ、地球温暖化や攪乱にともなう土壌放出炭素フラックスの変化等を精度良く評価するためには、土壌有機物量とその動態に関する効率的かつ精度の高い観測方法の開発が必要である。

陸域温暖化観測のためのセンサ開発

開発途上国や物資の輸送・エネルギー供給などが困難な場所での温室効果ガスなどのモニタリングを実現するために、電力・消耗品を最小化すると同時に信頼性を高めたセンサシステムを開発し、さらに、その同位体、大気中の酸素濃度などの連続自動測定装置を開発する。二酸化炭素濃度の連続測定器の民間航空機への搭載(現在、ボーイング社のみ、エアバスなど多くのメーカーに対する搭載)を進める。メタンなどについて、航空機搭載が可能な高信頼性・軽量小型の自動連続測定器を開発する。自動操縦小型飛行機搭載の二酸化炭素濃度・メタン濃度測定システムを開発する。気球ゾンデによる二酸化炭素濃度測定システムを開発する。

海洋自動観測のためのセンサ開発

自動昇降式の ARGO フロートに組み合わせることができる二酸化炭素測定センサとして、特に浮上時に海洋表層二酸化炭素分圧を測定する技術を開発する。より実現性の高いと考えられる表層漂流式二酸化炭素分圧測定装置の開発を進め、将来は使い捨てが可能となる低価格化を目指す。また表層設置ブイで二酸化炭素と生元素の循環に関わる多項目自動測定を行うセンサ開発を含む技術を開発し、特に高緯度海域での運用を目指す。これらのセンサは耐圧性、省電力、耐久性、検出感度・精度等において優れたものでなくてはならず、我が国の技術を持って世界標準を作っていくことが急務である。

衛星観測システムの研究開発

地球温暖化に係わる観測に必要な地球物理量を、衛星から目標とする観測精度で定量的に計測するには、ミッション解析、センサ及びプラットフォームの最適仕様の設定、センサ開発、センサ特性の評価・校正、高次処理アルゴリズムにより処理された高次プロダクトの検証が重要な研究開発要素となる。このため広範かつ高度な科学技術の知識集約型の研究開発体制の構築が極めて重要である。当面 GOSAT の

温室効果ガス等の観測用分光計開発及び観測データ処理解析技術、ADEOS-II 後継機の高波長可視赤外放射計、マイクロ波放射計、散乱計の開発及び観測データ処理解析技術、ALOS の合成開口レーダ、光学センサの開発及び観測画像データ処理解析技術、アクティブ観測を行うライダー、レーダーの開発および、放射計、画像データとの統合的解析技術が優先的に必要となる。また観測要求の高度化に応える、将来型センサの研究を先行的に実施し、高精度化に必要な科学及び開発要素技術を修得し、着実な開発を行うことが必要である。

統合的観測システムの利用実証から定常利用への段階的移行

衛星の観測データから得られるプロダクトは、時間・空間的に継続するデータセットとして常時最新の状態を利用して可能なように整備し、地球温暖化に関する気候変動等の現象を抽出し、対策に必要な情報として利用できることが重要である。このためには定常的観測及び解析研究が一体となったアクティブに対応可能な利用実施体制の整備が必要である。また複合的な観測データ及びモデルとの統合的システムの最適設計を行い、最終的に目標とする温暖化の実態把握、現状診断、将来予測への、実証から定常利用への移行を実現する必要がある。また、ミッション設定、研究開発、観測、データ解析を一世代 3~5 年間程度として、三世代 10~15 年間程度の過程を経て、次世代へのフィードバックを着実にを行い、段階的に定常利用体制の構築を図る必要がある。

エアロゾルとオゾンの影響の実態解明・メカニズムの解明

エアロゾルやオゾンとその材料となる物質（前駆気体）について、1）人為的排出源強度の把握、2）大気中での輸送・化学的変容・除去過程の定量化、3）地球システムへのインパクトの統合的な推定が必要である。特にこれまで系統的な観測のない、いわば観測の空白地帯であるアジア大陸内部での観測を行い、エアロゾルやオゾンへの人為的な影響を評価することが不可欠である。このような観点から、光吸収性エアロゾル（ブラックカーボンや黄砂）とオゾンおよびそれらの前駆気体（窒素酸化物（ NO_x ）、硫酸化物（ SO_2 ）、ホルムアルデヒド（ CH_2O ））を同時に、高精度・高時空間分解能で測定する測定器である衛星搭載用の紫外分光計（UVS）の開発が必要である。

1-5. 留意事項

1-5-1. 温暖化観測のネットワークとデータ管理

地球温暖化に関連する観測の特徴は、グローバルな観測データを統合して初めて有効な情報が得られる点にあり、気象データと類似した正確を持っている。地球温暖化観測に求められる条件は、各国は、単独に、あるいは相互同意により、さらに国際協力

の枠組みのもとで、統合的グローバル気候観測システムの完全な実施に向けて行動しなくてはならない。それには、高品質の衛星と現場観測を組み合わせる基盤を維持し、インフラを整備し、人材育成を果たす必要がある。

国際協力の下で再解析の推進を強化することで、気候トレンドの監視や、衛星観測の海洋再解析の実施、大気組成や他の強制力に関わる量の解析が可能となる。

地球温暖化に関する観測データは多様であることから、分散型の解析センターシステム（Distributed Data Analysis Center）方式の解析システムを導入する必要がある。個々のデータセンターはお互いに原データと処理データを共有しつつ、そのセンターがもっとも得意とするパラメータの解析を行う。

現場観測および衛星観測については、無料で無制限のデータ交換を各国が遵守することを原則とする。各国は、基本気候変数の観測データと付随するメタデータを、過去の歴史データも含め、気候解析のために国際データセンターで利用できるよう保証すべきである。

同一の気候帯や地域の共同による効率化や、インパクト評価や適応戦略の構築のために、より稠密な観測点でより頻繁な観測を実施する地域的、国内ネットワークが重要である。その例として、AsiaFlux（二酸化炭素のタワーフラックス観測を中心とした研究者間のネットワーク）や LTER（Long-term ecological research、生態系炭素収支にも関わる生態系の長期研究ネットワーク）がある。

各国は、温室効果ガスの排出インベントリや、土地利用インベントリなど、国内の統計データを整備しデータセンターで利用できるよう保障すべきである。これらのデータは現在より空間的にも時間的にも高い分解能を持つよう努力することが必要である。

データの品質保証・品質管理等の我が国が得意とする分野においては、積極的に国際的役割を果たす。また、国内で取得されるデータについては、高い質を保証するよう努める。

大気の温室効果ガスの観測と同様に海洋観測においても、各国分担観測、データの共同利用なくしては、解析研究を進めることができない。そのため、1995 年ころから、米国が運営する国際二酸化炭素データベース機関である CDIAC の海洋二酸化炭素データのデータベース活動が始まった。CDIAC（二酸化炭素情報解析センター、オークリッジ国立研究所）には既に、海洋二酸化炭素関連データを含む WOCE（World Ocean Circulation Experiment）断面観測（63 プロジェクトのデータ）、同様に二酸化炭素関連データを含む WOCE 以外の断面観測データ（15 プロジェクトのデータ）、表層二酸化炭素分圧観測（27 プロジェクトのデータ）が収録されている。また、我が国の二酸化炭素関連海洋化学研究者は PICES（北太平洋海洋科学機構）のもとでデータベースの構築を行っており（<http://picnic.pices.jp/index.html>）,

実データの公開がなされていないデータセットのカタログ化を含めて、データ共有を進める活動を行っている。今後の継続的な措置が必要である。またこの活動を通じて、我が国の研究機関が取得したデータを、国際的に流通することが求められている。将来的には即時性のあるデータ公開が望まれているが、現段階では2年程度の遅れでのデータ流通が進むようになれば大きな進歩である。データセンター機能の強化がなされて、観測機関にとってデータ提供・公開のプロセスが進め易くなることが望まれる。

データの精度管理の活動は SCOR/IOC CO₂ パネルのもとで行われており、全炭酸、アルカリ度分析に関しての標準試料プログラムが米国のスクリップス海洋研究所が中心となり継続的に行われている。現在、PICES の活動の中で、溶存炭素同位体の標準化も目指している。日本の活動も、スクリップス海洋研究所をサポートし、なおかつ、国内機関が利用しやすい船上標準試料の供給がなされることが望まれる。これに対し、表層二酸化炭素分圧測定の世界精度管理では、現在国立環境研究所がリーダーシップをとり、ドイツ、イギリス、フランス、米国、韓国などの各国の研究グループと共同でプログラムを進めている。

気象庁・気象研究所による20年以上にわたる海洋CO₂観測の間に確立した標準ガスの長期的な精度管理の技術も今後の観測ネットワークの構築に活用していくことが望まれる。

具体的な項目としては

気象

GSN, GUAN の推進を評価。しかし、地域的に偏在する、低品質と通報障害が課題。

異常気象の評価に、高頻度、精密な測点での観測、必要。

海上気象のデータ、全球カバーに必要。VOSCLIM (篤志船による海上気象観測計画)、海面基準点ネットワーク。

衛星による雲、水蒸気量の観測。GPS 技術への期待。

大気組成

大気組成の観測ネットワーク(地上、洋上、航空機などの in situ 観測)と QA/QC (データの品質保証・品質保管理)。

二酸化炭素、CH₄、N₂O、HFC's、SF₆ など規制温室効果ガスのほか、炭素(酸素)同位体や酸素(窒素比)、エアロゾルとオゾンや前駆体など関連物質など、観測項目の増加と連続測定化。

メタン、亜酸化窒素など温室効果ガス、および、同位体や酸素など重要な関連ガスの標準ガス開発は、研究段階を終えている。これを国際的なものとするため、組織的な取り組みが重要である。衛星による二酸化炭素、メタンなど温室効果ガス

の高精度観測、エアロゾル観測。このために、高精度のセンサ開発、国際的競争と協調の下に継続的に実施する

周回軌道衛星によるグローバルな観測と国際的に協調した静止衛星による定点観測網を構築する。

海洋

90年代の技術革新をもとに計画された全球海洋観測システムの構築に引き続き努力。

衛星データの重要性。持続性が課題

漂流ブイ、係留ブイ、ARGO フロート+他の海面、表層の水温・塩分ネットワーク

海面基準点ネットワーク。大気・海洋間のフラックス・モニター。

水位上昇検知の潮位観測ネットワーク

海洋中の炭素循環

深層循環のモニターのための海底に至る全層観測

陸面

大気、海洋に比べ、最も観測システムの構築が遅れている。一方で、陸面データの重要性は増す一方。

衛星による GTNs(全球陸面ネットワーク)に期待。衛星データの品質が、気候監視に合う水準か否か、未検討

過去に遡って長期間に及ぶ整合性のあるデータを再作成する必要。

LAI (葉面指数) 測定のような衛星データと現場観測の比較検証、重要。

GTN の 3 要素 (水、氷河、永久凍土) をあわせて整備

1-5-2. 温暖化観測のための組織体制

温暖化観測に係わる取り組みの優先度の判断、予算の分配、観測ネットワークの確立など、我が国の行政・研究者・産業界の総力を挙げた取り組みが必要である。このためには、これまでの各省縦割りの予算および実施計画検討体制は適していない。我が国における温暖化観測を統合的、総合的、且つ効率的(経費においても人的資源においても)に行うためには、各省で実施されている業務を連携した開かれた観測推進体制を整備する必要がある。温暖化観測を研究の1つの柱とする総合的な気候変動研究の統合的な推進体制の構築が望まれるところである。気候変動・温暖化観測に関する研究者、技術者、行政担当者が、今後の取り組み優先度について闊達な議論を行い、予算配分はその優先度に応じて行われるべきである。また、その優先度は研究の進展や社会からの要請で柔軟に変更可能とし、適時見直される必要があり、その有益性が常に評価・検証されなくてはならない。

1-6. 課題分析表

(「観測ニーズ」及び「重点化の必要性」欄の 印は特に重要度が高いものを示している)

分類	観測ニーズ (重要度)	現状	ギャップ(問題・課題)	具体的な 取り組み	重点化 の必要 性	重点化の視点(留意事項)
排出実態・ 濃度の把握	地上での二酸化炭素分布と時間変化	<p>フラスコサブリングが全世界の100地点で実施 連続観測ステーションが全世界で40地点設置 国内機関の地上観測ステーション: 気象庁(3), 環境研(2+シベリア10), 極地研(南北極) 米国の支援で中南米での観測点が整備.</p>	<p>東南アジア・中南米・アフリカでの二酸化炭素観測が不十分 大陸内部や熱帯域での観測が不十分 途上国では, 高度な観測機器の維持が不可能 衛星で観測しにくい場所を優先</p>	東南アジアの地上観測ネットワークの充実		<p>東南アジア地域との連携強化 データ解析に関する現地スタッフの研修等の能力開発 二酸化炭素濃度に関しては0.2 ppm分析精度が必要 標準ガス等の消耗品交換頻度の低減 電力供給等の新たなノウハウの整備を最小限に抑えるための技術開発 一般民生品の利用 自動化とIT利用による高度観測技術を必要としない維持管理</p>
排出実態・ 濃度の把握	対流圏大気中の二酸化炭素・メタン等の三次元分布と時間変化	<p>我が国の先駆的な観測 仙台沖(フラスコ, 東北大), 成田沖(シベリア便(日航, 気象庁), シベリア(連続・フラスコ, 環境研)), 相模湾沖(連続・フラスコ, 環境研・JAXA) EU, 米国での航空機モニタリングを充実させる方向 科学振興調整費による航空機搭載二酸化炭素濃度連続測定装置の開発の実施 ボーイング社航空機搭載型二酸化炭素連続測定装置が開発済み</p>	<p>チャーター機は経費が高む 大空港付近の大気は汚染されており, 中規模の空港の活用</p>	民間航空機等による温室効果ガスの高度分布観測ネットワークの構築 世界のモニタリング実施機関への技術提供		<p>民間協力・民間活力の活用 観測機器の電力・消耗品の最小化 同位体, 酸素等の連続自動測定装置の開発 二酸化炭素・メタンの連続測定器の民間航空機・自動操作小型飛行機への搭載</p>
排出実態・ 濃度の把握	大気中の二酸化炭素の高度分布と時間変化	<p>大気中の二酸化炭素濃度を高精度で測定できる衛星開発 衛星センサとして太陽光の地表散乱光の分光方式が検討</p>	<p>大気中の二酸化炭素濃度を高精度で測定できる衛星観測の実現 エアロゾルや雲が観測の精度を低下 基礎技術開発や方式の競争的提案の仕組が必要</p>	GOSAT(温室効果ガス衛星観測)の早急な実現 衛星センサ開発の体制の整備		<p>1 ppmの測定精度で二酸化炭素カラム濃度を決定 米国のOCO衛星との競争と協力</p>
排出実態・ 濃度の把握	大気中の二酸化炭素の高度分布と時間変化	<p>バルーンによる高度分布観測が世界の100ヶ所で実施されている 大気球による温室効果ガスのサブリング分析が行われている(極地研, 東北大)</p>	<p>バルーンのような安価で軽量の二酸化炭素, メタンの観測センサの開発</p>	電気化学, 半導体光源などの技術開発によるセンサ開発		<p>衛星や航空機観測で困難な気象状況での高度分布観測が可能</p>

排出実態・濃度の把握	対流圏エアロゾルの分布と変化	エアロゾルの航空機観測が、不定期に実施 衛星データからエアロゾルの分布の算出	エアロゾルの光学的性質を高品質で測定するには航空機観測が不可欠であるが、高頻度の観測が不十分	大気質の観測を定期的に行う専用機の整備	大気質の高度な観測を定期的に行う航空機を整備し、アジア全域で共同運航
排出実態・濃度の把握	二酸化炭素の同位体比や酸素濃度の分布と変化	安定同位体や酸素濃度の測定（東北大、環境研、産総研など）	大気のサブリング分析が行われているが、自動連続測定が確立していない	高精度で安定な自動測定機器の新規開発	世界にモタリタグステーションに展開することにより、イノベーションが可能。
排出実態・濃度の把握	北太平洋の海洋表層における二酸化炭素濃度分布	従来からの各国観測船による海洋表層二酸化炭素観測 北太平洋の商船による研究観測実施とEU、米国の追随による観測網拡大 観測精度向上へ我が国の活動が貢献	南大洋などの商船航路が得られない海域の加 - 定期航路船による観測網の不足 測定装置比較実験の定期的開催が必要 効果的な観測点配置が不十分	民間商船による海洋表層の二酸化炭素観測網の拡大 多目的運航観測船の表層観測への利用 測定装置比較実験の定期的実施 自動計測デバイの開発と運用	民間商船を利用した定常観測体制を構築 多目的運航観測船などの活用 太平洋・大西洋・インド洋を国際分担で実施、南北太平洋、南極海、インド洋などの観測を国際共同実施することがわが国の使命 国際研究連携によるデータ集約体制の整備 現代の二酸化炭素シミュレーションの理解、気候モデルの評価・検証による将来予測の正確化
排出実態・濃度の把握	南北太平洋と南大洋における海洋断面の二酸化炭素濃度分布	わが国の研究機関観測船によって不定期に測線観測を実施 CLIVAR は IOCCP と連携して二酸化炭素分圧を含む海洋断面観測を実施、米、加、EU、豪日などが断面観測を実施、国際データ共有体制が構築されつつある 観測精度向上へ我が国の活動が貢献	断面観測航海の不足で、5-10年間隔では全海洋観測が困難	南北太平洋と南大洋において海洋断面において実施体制の強化 測定精度確保のための国際的標準試料維持への貢献	国際共同研究の観測方針・データ公開ポリシーを尊重 米国の標準試料プログラムと互換性のある国内標準試料の作成・普及が必要 測定設備・実験室の備わる海洋炭素循環専用観測船が望まれる 過去から現在にいたる二酸化炭素シミュレーションの理解、将来のシミュレーション予測、海洋炭素隔離の検討
排出実態・濃度の把握	西部北太平洋高緯度亜寒帯、中緯度、低緯度亜熱帯における海洋の二酸化炭素濃度の長期変化	米国は亜熱帯太平洋・大西洋定点で観測船による15年継続観測を実施、長期変動観測と共に炭素循環プロセス研究	我が国の海洋時系列テストプロジェクトは3年の観測で終了、太平洋高緯度海域での時系列観測の継続が困難 海洋の二酸化炭素吸収によるゆっくりとした二酸化炭素増大や化学成分変化を検出・把握する高精度観測専用観測船の所有	西部北太平洋高緯度亜寒帯、中緯度、低緯度亜熱帯（国際分担の3海域）における海洋時系列観測点の長期継続観測	海洋観測機関の二酸化炭素等海水成分の測定精度維持管理体制が必要 観測船観測の補充のため時系列定点に表層大型定置デバイス設置 海洋炭素循環観測専用観測船の効率運用と、既存観測船の組み合わせが必要 海洋炭素循環モデルの検証

排出実態・濃度の把握	陸域生態系の二酸化炭素吸収・放出量	ツアフラックス観測サイトにおける陸域生態系の吸収・放出二酸化炭素フラックス観測 世界各地の約 150 地点 産総研・岐阜大（高山）、環境研（苫小牧）森林総研、大学等による 15 地点	複雑地形でのフラックス評価法の確立	アジア域の代表的な陸域生態系におけるツアを設置し二酸化炭素フラックスを長期連続観測	アジア域各国連携による AsianFlux ネットワークの組織化 IGBP, GCP 等との連携水循環観測との統合観測ステーションを東南アジアに充実 衛星からのバリエーションを遠隔計測する技術（SAR）の高度化 土壌有機物量とその動態に関する効率の高精度の観測手法開発
排出実態・濃度の把握	陸域生態系の二酸化炭素吸収・放出量	東南アジアにおける森林火災早期発見システム、NOAA, DMSF 衛星を用いた森林火災情報抽出と即時配信 地球資源衛星（JERS-1）の 92-98 年における高解像度データより全球森林マップの作成 中解像度（約 1km）観測データによる全球植生指標マップの作成など	陸域観測技術衛星（ALSO）の早期運用 中解像度全球植生観測の高度化 森林火災情報に基づく二酸化炭素放出量推定	陸域植生の炭素循環に関わる衛星観測	高分解能の合成開口レーダ PALSAR を中心に、光学センサを搭載する陸域観測技術衛星の早期打ち上げ、観測の開始・継続 全球中分解能バリエーション加観測高度化（BRDF, EVI など） 森林火災モニタリングの監視地域拡大と二酸化炭素放出量予測へのリンク 広域な陸域生態系の炭素現存量・変動量の把握を通じて、地球温暖化予測の不確実性を低減
温暖化プロセスの理解	包括的データ	ADEOS-II による総合観測システムを開始（現在は中断） TRMM, Aqua による水循環観測データの継続取得	中・長期変動を評価するための十分な期間のデータ取得が欠落	ADEOS-II の観測機能を継承・発展させた複合衛星観測の再開・継続 GPM による水循環データ取得の継続	全球気候モデル検証のためのデータ構築
温暖化プロセスの理解	大気中温室効果ガス等の長期変化	フラスコップリングによる二酸化炭素の炭素同位体の長期継続的な観測（環境研、東北大、極地研、産総研、京大） フラスコップリングによる酸素濃度測定（環境研、東北大）	高精度の長期間観測データの蓄積	フラスコップリング二酸化炭素の炭素同位体、酸素濃度測定	一酸化炭素、水素、BC の測定 炭素同位体測定精度 0.02 permil 酸素濃度 10 permeg 温室効果ガス分析のための標準ガス精度管理
温暖化プロセスの理解	全海洋基礎生産量の分布と変化	全海洋のデータセット作成 （ADEOS/OCTS: 1996-7, ADEOS-II/GLI: 2003） 全海洋基礎生産の研究プログラムの作成	ADEOS-II の観測機能を継承・発展した光学センサ（GLI）を中心に、マイクロ波放射計（AMSR）及びイ散乱計（SeaWinds）を組み合わせた複合衛星観測の早期再開・継続	沿岸水域の高クロロフィル濃度、懸濁物質との分離などに対応した観測の高精度化 人間活動や海洋資源開発の影響評価	高分解能（250m）観測多チャンネル観測データ解析
温暖化プロセスの理解	海洋断面の化学成分分布	わが国では、研究船観測で海洋プロセス研究を実施してきた	化学成分計測実施には、他の二酸化炭素観測航海の観測船運用と異なる条件が生じる	プロセス研究のための観測航海の実施 時系列観測・断面観測と連携	化学計測（粒子状・溶解有機炭素・微量金属元素・微量放射性元素・人口有機化合物）の実施 海洋炭素循環を規定す

				した観測研究	る要因としての微量栄養塩などの役割、海洋炭素循環の高度化
温暖化の理解	海洋表面の化学成分分布	米国では観測船時系列点において、自動観測の研究を実施 わが国では、各省庁で観測の高度化研究を実施 フランスは観測困難海域での漂流装置による表層二酸化炭素分圧測定に挑戦	荒天海域での大型係留観測は困難 水中を用いた化学成分測定のための技術的な制約	漂流型の二酸化炭素分圧測定システムの開発 海表面係留設置型多項目化学観測の開発	漂流型の表層二酸化炭素分圧測定システムの開発と低価格化による使い捨て利用 表層定置観測に搭載可能な多項目自動測定技術の開発 海洋炭素循環の高度化
温暖化の理解	海洋断面の二酸化炭素分布	貨物船からの投げ込み型水温観測器(XBT)による国際共同観測プロジェクト 水温・塩分観測用自動昇降漂流観測器ARGO, 3000個の投入(現在1000個)が国際共同プロジェクトで進行中	高精度の長期間観測データの蓄積 観測頻度が不足 自動昇降漂流観測器への二酸化炭素搭載は現状技術では困難	自動昇降漂流観測器搭載可能な二酸化炭素搭載観測器の開発	ARGO 浮上時に表面海水の二酸化炭素分圧を測定する観測器の開発、浮上時に限った表層海水二酸化炭素分圧測定観測器の開発がやや容易で表層海洋観測網に貢献できる より高度な二酸化炭素観測器の開発は断面観測に貢献 現代の二酸化炭素シミュレーションの理解、海洋炭素循環の高度化
温暖化の理解	雲・エアロゾル・放射強制力	中期間(～1年間)の観測データセット作成 ADEOS/OCTS:1996-7, ADEOS-II/GLI:2003) 雲観測との比較開始 NASAのALIPSOとLOUDSATによるA-train計画の準備(2005年～) GPM(2007年～) Earth CARE	ADEOS-IIの観測機能を継承・発展した光学観測器(GLI)を中心に、マイクロ波放射計(AMSR)及び散乱計(SeaWinds)を組み合わせた複合衛星観測の早期再開・継続 全球降水観測衛星(GPM)の実現 長期間のデータの必要性 低軌道衛星による高精度観測(Earth CAREの提案) 雲形成から降雨までの全観測の観測	地球規模での雲・エアロゾル・放射強制力の衛星観測	雲・エアロゾルの放射強制力の衛星観測 雲とエアロゾルの鉛直分布 エアロゾルの光学的厚さと一次散乱アルベド 降雨量・水蒸気量の衛星観測 雲の衛星観測 エアロゾルの衛星観測 従来の気象・海象の観測の着実な実施
地球温暖化の検出/プロセスの解明	過去の地球温暖化、温室効果ガス、エアロゾルの変動	アイスアによる酸素同位体、二酸化炭素濃度の変動研究(極地研、東北大) 仏、デンマーク、米国、日本が主導 2004年3月のNSF主催の国際会議:今後南極氷床内陸部、沿岸部や環北極海での多点掘削を重点的に取り組む方針を採択	過去10 ⁰ ～10 ⁵ 年の気温等の変化トレンドは解明されたが、地域比較、高時間分解能復元が未解明 南極氷床沿岸部、環北極海は、アイスアの空白域	南極氷床、超長期アイスア掘削 南極氷床沿岸部及び環北極海の多点アイスア掘削	アイスアによる二酸化炭素濃度の解析は、氷の融解が生じない南極氷床しか適地がない 国際共同観測として実施
地球温暖化の検出	気象要素	地上気象観測点における、気温、降水量などの観測:GCOS地上気象観測網(GSN)世界1000箇所	観測データの即時的な流通と共有化 観測技術の高度化の必要性 アフリカ、南米などでの	データ寡少域の改善、GSNやGUANのデータ流通の監視や品質評価	雲・エアロゾル、降水、植生、雪氷、陸面・海面温度など変動

		高層気象観測：GCOS 高層気象観測網（GUAN） 世界 150 箇所	気象データ寡少に くわえ、旧ソ連域での気象 観測点の減少		
地球温暖化 の検出	大気成分濃度	大気成分濃度モニタ リング： 全球大気監視 （GAW）	観測データの品質管理 の改善	温室効果がス データの収集・還 元や品質評価測 定に必要な標準 がスの較正	GAW を通しての国際協 力の強化：観測データの品 質管理の高度化と、途上 国などへの技術移転
地球温暖化 の検出	海象	海面水位監視のため の潮位観測：GLOSS 全球 海面水位システム	世界的に観測点が不 均質	検潮所の地盤 の沈下変動	IOC を通しての国際協 力の強化 潮位の長期観測データの 補正
地球温暖化 影響	全球規模の雲・ エアロゾル、降水、 植生、雪氷、陸 面・海面温度な ど変動	ADEOS-II による総合 観測システムを開始（現在 は中断）	継続した観測の欠落	各地球圏に現 れる温暖化影響 の監視を行う全 球観測衛星 （ADEOS-II 型） の再開・継続	
地球温暖化 影響	北極陸域におけ る大気微量成 分、大気循環場 大気汚染物質、 ツンドラ植生、 降雪、積雪、融 雪、永久凍土	北極圏では、1990 年以降観測点の多数が 閉鎖 WCRP/CLIC 計画の主 要課題 IPY4（国際極年 4,2007/8）がターゲット	地球温暖化が顕著に 進行する北極域で広大 な観測空白域が存在	東シベリア域と 北極圏にスパ ーションを設置 大気微量成 分、大気循環場 （高層ゾンデ）、 大気汚染物質 （高層ゾンデ）、 ツンドラ植生の総 合的観測 降雪、積雪、 融雪、永久凍土 のモニタリング観測	国際共同観測拠点とし て基地を運営 衛星の地上検証観測地 点として利用
地球温暖化 影響	ホムツ海の水 分布	北海道大学がコアと 推進 WCRP/CLIC 計画 の主要課題	海水形成に関わる大 気・陸域・河川の役割 は未解明	ホムツ海を中 心に、海水分布 の衛星検証観 測、河川による 淡水供給と海水 形成プロセス解明 観測	衛星の地上検証観測地 点として利用
地球温暖化 影響	ヒマラヤ山岳水 河分布	我が国の研究者（名 古屋大学、北海道大学） による長年の主導的な 取り組み	全ヒマラヤの広域特性の 実態把握は不十分 地元研究者の養成	ヒマラヤ山脈にお ける氷河の縮 小、氷河湖発達 と決壊に関する モニタリング観測	温暖化影響による氷河 水資源、雪氷災害影響研 究として、パキスタン、ブ ータンへの貢献 衛星の地上検証観測地 点として利用
地球温暖化 影響	日本列島におけ る雪氷圏の変化	低地積雪量は、気象 庁、防災科学技術研究 所等で長期実施 北アルプスでの雪渓モニ タリング観測の継続（名大）	観測点は、低地に集 中し、山岳域は不十分	航空機による 広域多年性雪深 のモニタリング観測 山岳積雪の多 点モニタリング観測	積雪観測地点のネットワ ーク化
地球温暖化 影響	南極氷床の分布	南極観測として断続 実施 CRP/CLIC 計画の主要 課題	広大な氷床流域の面 積観測が不十分	南極氷床の総 合的な流域雪氷 モニタリング観測（積 雪量、流動量、 海洋流出量観 測） 地上/航空機/ 衛星観測	衛星の地上検証観測地 点として利用 数値シミュレーションの基礎 データ提供

地球温暖化影響	陸域生態系の変化	熱帯域の急激な土地利用・生物多様性喪失の調査を我が国はおもに東南アジア熱帯域で展開	多国間の研究連携・総括体制の構築	陸域植生の実体把握	DIVERSITAS-DIWPA の機能強化による多国間の連携強化
地球温暖化影響	被災地域の生態系変化	永久調査区による追跡観測網を利用した解析とモデル化	被災地を中心とした観測サイトの設営	森林火災・暴風害などの災害被災地における継続的観測の実施	衛星観測や陸域炭素フラックスのモニタリング観測と連携
地球温暖化影響	海洋生態系の長期変化	国際共同研究 GLOBEC などいくつかの海域で温暖化による海洋生態系、特に高次生態系の変動を解析している	海洋生態系の影響調査には長期的な視野が必要 代表的な生態系を設定し、国際協力で長期モニタリングの実施	太平洋の各生態系における生物群集構造の長期モニタリング	定点観測とバイオ多様性資源調査との連携

2. 地球規模水循環部会報告

2-1. 背景

世界各地で水不足、洪水被害の増大、水質汚染などの水問題が発生しており、これらに起因する食料難、伝染病の発生など、その影響は開発途上国においてますます拡大している。この原因には、水循環の変動性が大きいという自然要因に加えて、急激な人口増加による農業用水需要の増大や、都市開発、産業発展などの社会的要因が挙げられる。さらに、地球温暖化に代表される気候変動によって、これらの問題が一層深刻なものになることが懸念されている。

我が国はアジアモンスーンによる降水帯の東縁に位置しており、アジア諸国とともにこの世界最大スケールの水循環システムの大きな変動の影響を強く受ける。また、我が国はアジア諸国と同様に造山帯での土地・水利用形態に関連する諸問題や、巨大都市における水需給や水質の問題など、アジア諸国と共有できる社会的、技術的課題も多い。したがって、アジアモンスーンの変動性を理解し予測精度を向上し、水不足、水害、水環境の社会的、技術的な課題の解決策を当該諸国と協力して確立することは、我が国の水管理において重要であるだけでなく、世界人口の約6割を擁するアジア域の水問題の解決、ひいては社会の安定、経済の発展に不可欠である。

2-2. ニーズと現状

2-2-1. 水循環の変動性

水循環は、季節および年々の変動が大きいことが特徴である。これまでの水管理は、対象とする流域の長期にわたる水文資料を収集し、この変動性を定常確率過程と仮定し、何年に1度の発生確率という安全度を設定して基本計画としてきた。また対象とする流域およびその近傍の観測データを用いて管理されてきた。しかしながら、水循環の変動性には、離れた場所でしかも異なる季節に生じている事象が関連しており、大気、陸域、海洋の相互作用の中で、それらの事象が相互に関連しながら様々な時空間スケールの変動性を作り出していると考えられるようになってきた。しかも、そのスケールは地域を越え、地球規模にも及ぶことがある。したがって、従来の手法ではこれら水循環の変動性を踏まえた水管理を行うことは困難である。また、地球温暖化が水循環変動に及ぼす長期的影響も重要で、降水の定常確率過程に基づく水管理計画の根幹を揺るがしている。地球温暖化が水循環変動に与える影響を理解し、定量的に評価するにあたっては、水循環の自然変動とそれへの人間活動の作用のメカニズムを理解することが不可欠である。

2-2-2. 水不足問題は21世紀の世界共通の課題

水資源利用秩序は、本来それぞれの地域の気候や風土の中で、長年をかけて形成されてきたものであ

るが、人口増による食料確保のために新たに農地を開墾し、その結果水需要が増加し、同時に土地被覆の改変によって保水力が低下している。さらに産業や生活様式の変革による水需要増も相まって、水利用の秩序が大きく変化し、水資源の利用システムは脆弱になっている。この中で、水循環の大きな変動が生じたとき、危機状況に陥る可能性が増大している。河川水に加え地下水への依存度も高まり、地下水位の低下や地盤沈下、塩害の発生が世界各地で報告されている。これらの背景により、すでに水を巡る国際紛争が各地で発生しており、水問題は21世紀最大の地球規模での環境問題となることが世界的にも指摘されている。我が国では人口減少が推計されているものの、我が国へ輸入される食料の生産国での水資源問題や国際安全保障上の問題の観点から、これは看過できない課題である。

2-2-3. 水・土砂災害の脅威

都市化や森林伐採など土地利用の変化が洪水流量を増大させ、また人口増による氾濫原での居住域の拡大が洪水被害を増大させている。このような水災害に加え、土砂災害も頻発しており、資産被害だけでなく人的被害が依然として大きい要因となっている。一方これらの被害をもたらす極端事象に対して、途上国においては観測すら行われていないのが実態であり、我が国においても予警報、災害防御・管理システムは完全とはいえず、極端事象の発生のたびに甚大な被害が生じている。さらにはこれら極端事象の強度、頻度、偏在化の変化も指摘されており、水・土砂災害のリスクマネジメントはますます難しくなっている。

2-2-4. 水質汚濁と生態系への影響

人口増と産業発展に対して、上水道や下水道などの設備や排水規制などの社会制度の整備が追いつかない途上国を中心に、水質汚濁による公衆衛生上の問題が深刻化している。途上国では病気の約80%は、浄水、公衆衛生対策の不備が原因であり、水に関わる病気で多くの子供が亡くなっている。生態系に対しては、水利用形態に加えて土地利用変化による水量・水質変化が影響しており、生物活動の場の変化を引き起こす土砂輸送などの影響評価も重要である。また、それは絶対量のみならず、変動性も重要な要因である。なお、河川表流水の低下に伴う河川の断流等が生物の移動に与える影響についても評価を行う必要がある。

2-2-5. わが国の科学、技術、国際リーダーシップの優位性

地球規模、地域的、局所的な水循環変動観測には、地上における観測ネットワーク、人工衛星、船舶を用いた観測、GIS(地理情報システム)データ収集体制

の強化が必要である。とりわけ、これらの複合的で多機関にわたる水循環情報を統合的に利用して水循環観測システムを構築するには、多量で多様なデータの取り扱いが問題となる。多量で多様なデータを多機関から収集し、アーカイブし、統合化して有効に利用するには、最新の情報通信技術（IT）分野におけるデータベースおよびネットワーク技術の導入が不可欠で、そのための研究・技術開発体制を確立しなければならない。

2-3. 今後 10 年で取り組む方向性と目標

人類の持続的な可能性と福祉を確保するためには、水災害の防御、望ましい水利用と配分、水環境の保全を実現する持続可能で望ましい水管理手法を開発することが求められている。そこで、様々なスケールで生じる水循環変動が人間活動に与える影響と、人間活動が様々なスケールの水循環系に与える影響とを評価して、その情報を危機管理、資源管理における政策決定に反映させることを目的として、地球規模水循環観測を実施し、そのデータシステムを構築することが必要である。このシステムの構築は国際協力の下に進め、得られる情報を国際的に共有できる体制を築くことが肝要である。その実現に向けた基本的な考え方を以下に示す。

2-3-1. 包括的で一貫した研究・技術開発・定常運用体制を構築

観測に基づく水循環の実態の把握・変動メカニズムの解明・モデル並びに予測技術の開発から、食料増産や都市開発に伴う水利用・土地利用・災害リスク・水環境変化の実態の把握と将来予測・影響評価・対策シナリオ策定・技術開発まで、一貫した共同研究、技術開発、定常運用体制を構築し、その中核的役割として地球規模水循環に関する情報基盤技術を確立すべきである。

これにより、自然変動と社会的要因による変動の実態を明らかにし、それを包括的に記述するモデルを開発することによって予測能力を高め、社会的利益に資する水情報の創出が可能となる。また、全球的・地域的変動性と、流域・局所的変動性を組み合わせ合わせた研究、技術開発、定常運用体制により、広域変動が比較的ローカルな領域の水循環・水資源変動に与える影響を、また逆にローカルな影響が広域変動に与える影響を、双方向的に取り組むことが可能となる。

このような研究、技術開発、定常運用体制は一機関でカバーすることはできないし、また一国で閉じる内容ではない。したがって、国内関連機関を連携して取り組む体制づくりが重要であり、これを国際協力の下に進めることが不可欠である。これは、水問題に対する従来の個別の取り組みを、総合的、統合的な体制に転換するブレークスルーとなる。

2-3-2. 地球規模水循環変動の包括的で持続的な統

合観測戦略が必要

水循環変動は、局所的であると同時に地球規模であり、短期変動と長期変動を有しており、様々な時間スケールの諸現象が相互に関連して生じる。したがって、大気・陸域・海洋の水循環に関わる諸量を総合的に、局地的観測と地球規模の観測を統合化して、長期に継続して観測する体制の確立が必要である。

そこで国際協力の下に、水循環要素を総合的に計測する高度集中観測拠点（スーパーサイト）を地域代表性の高い所に設置し、水文・気象の現業観測と経済性に優れた多点観測とを組み合わせ地上観測ネットワークを構築する。また観測データのオンライン収集と品質管理体制を強化する。同時に衛星による地球規模水循環観測を継続、発展させる。地上観測は地域に密着した水文・気象情報の提供とともに衛星観測の検証機能を有し、衛星観測は包括的で広域の水循環情報提供の機能を有する。このように地上観測と衛星観測とを組み合わせ運用する戦略が必要である。

スーパーサイトの設置には、わが国がアジア、特に東アジア、東南アジア各国と進めてきた国際共同研究、共同事業の経験、実績を踏まえ、これを強化する戦略が妥当である。また解析的研究やモデル研究から重要と考えられる地点の新規設置も視野に置く。ここでは、多パラメータレーダやウィンドプロファイラ、差分吸収ライダー等の地上リモートセンサやフラックス観測システム、土壌水分の多深度測定システム等を統合的に運用して、高度な観測システムを構築する。

気象の現業観測は、観測の標準化、データ収集、品質管理、統一フォーマット化、アーカイブ、公開方法などが国際的枠組みの下に合意され、実行されているが、河川（水位、流量、水質）や地下水（水位、水質）等、水文の現業観測データの国際的な共有化は達成されていない。この調整にいたずらに時間と労力を割くのではなく、まずは短期間プロジェクト等を通してデータ共有化のメリットを共体験し、その上でさらに理想的なデータ収集・品質管理・アーカイブに関する国際協力体制の構築へと進むことが肝要である。また、レーダやウィンドプロファイラ観測、GPS 可降水量測定、土壌水分観測などを加えた高度な現業観測の拠点を国際協力の下にアジア域に展開する長期的な戦略をもつことが望ましい。

経済性に優れた多点観測およびデータ収集のためには、多数のセンサやカメラ・照明、信号処理・制御回路、計算・サーバ機能、通信機能を有する小型計測装置をネットワーク化し、個別のセンサの能力を超えた精度の情報を収集する超分散モニタリングシステムを開発し、国際協力の下でスーパーサイトおよび主要な現業観測地点周辺に展開する。

衛星による地球規模水循環観測のためには、大気、陸域、海洋の水循環要素を包括的に観測するシステムを国際協力の下に構築することが必要である。わ

が国はこれまでの研究開発実績の強みを活かし、降水レーダ、マイクロ波放射計、合成開口レーダ、可視・赤外イメージャ等を高度化して、地上観測ネットワークデータによる検証を通して観測精度を向上に務める。また、河川水位や地下水位などの衛星観測手法の開発研究も推進する必要がある。

2-3-3. データ統融合化による高度で有用な水情報を創出

多様で多量なデータを、メタデータの作成やフォーマットの統一化を通してデータベース化し、統合的に利用するとともに、数値モデルとの結合性を高め、時空間的な観測空白域を埋めることが可能なデータ同化手法を開発し、観測データの流通性、公開性、利便性の向上と高度化を目的とするデータ統融合化システムの開発が必要である。

また防災や水利用、環境保全等、多様なニーズに対応するため、水量と水質データを統合的に用いて、社会的に有用で詳細な情報への翻訳するシステムを開発し、その出力を国際的に共有するシステムを開発することが肝要である。このためには自然科学的データと社会・経済的データとの結合が不可欠で、両者の質の違いを超えて結合を可能にする地球規模の空間情報基盤の整備を急ぐ必要がある。また、得られる有用で高度な情報を国際的に共有する情報システムの整備により、データ提供者はもとより広く国際社会に貢献できる情報を発信することが可能となる。

データ統融合化システム、データから情報への翻訳するシステム、情報の国際的共有システムを開発、運用して、国際社会に貢献するためには、これらを責任を持って長期に実行する地球規模水循環データ統融合化センターの設立が必要である。

2-3-4. 国際協力と人材育成を強化

局所的観測と地球規模観測を組み合わせた包括的で持続的な地球規模水循環観測システムおよびそのデータシステムを構築するには、関係各国の教育・研究コミュニティ、水文/気象現業観測機関との有機的で建設的な連携が不可欠である。

スーパーサイトと水文・気象の現業観測、経済性に優れた多点観測とを組み合わせ地上観測ネットワークの設置、運用や、データ統融合化システム等の開発は、水循環、水資源に関わる関係国の研究者や高度観測技術者の育成に貢献するところが大きい。同時に、観測研究者や専任の観測研究マネージャの育成が難しいとされるわが国の教育、研究の問題点をも補うものである。

そこで、関連する国際的なプロジェクトを総合的に進めうる推進戦略をもつ必要がある。またこれらの活動を支援するため、国内外の研究者や観測技術者の観測技術力を育成するとともに、国際プロジェクトを管理し推進する能力の向上を目指す研修プログラムの開発、提供が必要である。

地球規模水循環観測の実施およびデータシステムの構築に当たっては、観測機材やデータアーカイブ資源の整備が不可欠ではあるが、国政的調整、観測のマネジメント、データ収集と品質管理、データ統合化、データから情報への翻訳のための研究・技術開発・定常運用のために相応の人的資源が必要となることから、人的資源の重点的な投入が最も重要であることに留意しなければならない。

2-4. 今後 10 年間程度の取り組みの重点事項

2-4-1. 地球規模水循環観測およびデータシステムの企画・運営・評価の推進組織の設置

地球規模水循環変動に関わる観測システム、データ統合、モデリング、社会的影響評価、対策評価の有識者を含めた府省横断的な推進組織を設置して、国際的な協力を視野において、地球規模水循環観測の実施およびデータシステムの構築を企画し、その実施・達成状況を評価しながら、運営の方向性を定める。

2-4-2. 地球規模水循環統合観測システムの構築

(1) アジア・オーストラリアモンスーン域、ユーラシア高緯度および高山域の水循環変動の実態把握と、予測向上に向けた機構解明を目的とした包括的な地上観測ネットワークを構築。

- ・アジア地域レーダー・アメダスネットワークを構築。
- ・アジア域水循環スーパーサイトネットワークを構築。
- ・アジア域における水文・気象現業観測データ（地上レーダ、GPS 観測を含む）共有に関する連携強化と拠点的に観測の一層の高度化を推進。
- ・アジア域での高層気象観測を再構築。
- ・アジア域の降水・水蒸気の同位体比の高頻度観測を推進。
- ・アジア域での系統的な気象・水文の毎時自動観測と植生調査を推進。
- ・経済性に優れた多点観測システムの開発し、アジア域水循環スーパーサイトや現業観測高度化拠点を中心に展開。

(2) 地球規模水循環衛星観測ミッションの推進

- ・広域の水循環変動の把握とそのメカニズムの解明、気候監視解説、季節予報モデルの検証、気候数値解析における陸面同化の精度向上を目的とした、降水、土壌水分、積雪、水蒸気、雲の地球規模観測ミッションを継続的、発展的に実施。
- ・降水レーダ、マイクロ波放射計、合成開口レーダ、可視
- ・赤外イメージャ等の開発研究を推進。
- ・国際協力の下で衛星による包括的で継続的な地球規模水循環観測を推進。

(3) 地球規模水循環観測のデータセンター機能の提

供

地球規模水循環観測におけるわが国の観測、研究、調整能力や国際的なリーダーシップ、地域特性における強みに鑑みて、独自性を発揮しつつも、地球規模水循環観測データの公開、流通、統一の利用を促進のための国際的責任を担える分野、階層において、以下の二つのデータセンター機能を確立し、国際的な連携及び府省連携のもと、効果的、効率的に研究、開発、サービス提供を行う。

集中型データ統融合センター

データ提供機関の独自性を確保しつつ、非均質情報源からの超大容量で多様な地球観測データの統融合を効果的に行い、新たな情報価値の創生とその国際的共有を目的として、集中的なデータ統融合センターを設立し、データ GRID、WEB サービス等を介した国際的な機関協力を目指す。

分散型データ統合センター

非均質情報源からの多様なデータを、ユーザがネットワークを用いて手軽に、しかも統合的に利用できる分散型データ統合センターとしての機能を開発し、サービスを提供する。

(4)水循環データから河川・水管理に有用な情報への翻訳と水循環変動の影響把握システムの開発

衛星データの水管理指標への翻訳システムの確立に向けた技術開発の推進し、既往の水管理システム、流出モデル、降雨予測モデル、水質モデルと結合する。

(5)全球データ同化による全球長期再解析の実施

長期再解析の高度化（陸面過程、降水過程）ならびに一定期間毎の長期再解析の再実行する。

(6)アジア域でのメソスケールデータ同化手法の開発

メソスケールのデータ同化手法の開発による観測データの高度利用・現象の理解と予測の向上を目指す。

(7)観測技術力育成、国際プロジェクト管理・推進能力育成の研修センターの設立

国内外の研究者や観測技術者の観測技術力を育成するとともに、国際プロジェクトを管理し推進する能力の向上を目指す国際研修センターを設立し、人材育成、能力開発を推進する。

2-5. 留意事項

2-5-1. 国際協力

全データを1カ国で管理することは困難であり、同時に科学的な視点からも国際政治的な視点からも、独占的にデータ収集機能を高めるのではなく、複数の国、地域が協力して、地域や対象を相互に分担し

て担当し、より総合的なシステムを階層的に構築していくことが望ましい。

2-5-2. 現業機関と研究グループの協力関係の構築

データが現業機関と研究観測から提供され、またデータシステムが IT 分野の先端的な研究開発事項であるとともに現業的な長期運用が必要なことを考慮して、研究グループ、技術開発グループ、現業機関による協力体制を築くことが、持続的発展が可能な地球規模水循環観測システムの基本的戦略である。

2-5-3. 我が国の持つ技術や地域特性における強みを生かし、我が国の独自性を確保する

総合科学技術会議では、水循環変動が人間社会に及ぼす影響を回避あるいは最小化するとともに、持続可能な発展を目指した水資源管理手法を確立するための科学的知見・技術的基盤を提供することを目標として、2001年に地球規模水循環変動研究イニシアティブを立ち上げた。その中で全球水循環観測プログラムを策定し、国内関連機関が協力して、観測・モニタリング体制の充実とデータベースの整備を推進している。

我が国は統合地球水循環強化観測期間 (Coordinated Enhanced Observing Period, CEOP) プロジェクトを国際的に提案し、米国、ドイツをはじめとする世界各国と協力して地上強化観測データ、衛星観測データ、数値気象予報モデル出力を統合化することによって地球規模水循環データセットを作成し、それを用いて水循環のプロセスの理解と予測研究、モンスーンシステムのモデル開発研究、地球規模の広域予測情報を流域規模にダウンスケーリングする研究を国際的にリードしている。この国際ネットワークを継続、発展させることによって、包括的で持続的な地球規模水循環観測の実施およびデータシステムの構築を目指すべきである。

我が国は、世界初の衛星搭載降雨レーダを開発して、1997年に「TRMM」を日米共同で打ち上げ、現在も運用を継続しており、さらに米国、欧州と協力して全球降水観測 (GPM) ミッション計画を推進している。また2002年には地球規模水循環観測に有用な2機の改良型マイクロ波放射計 (AMSR-E, AMSR) をそれぞれ NASA の衛星 Aqua と我が国の衛星「みどり2」で打ち上げており、前者は現在も運用中である。1992年にわが国の衛星「ふよう1」で打ち上げられた Lバンド合成開口レーダは土壌水分観測に有用であることが確かめられ、2005年にはさらに高度化された PALSAR を搭載した「ALOS (陸域観測衛星)」が打ち上げられる予定である。このような衛星による地球規模水循環観測におけるわが国の国際貢献、国際リーダーシップとして一層推進すべきである。

わが国が中心となって国際協力の下に地球地図プロジェクトが推進されている。現在、18カ国の交通網、境界、水系、人口集中地区、標高、植生、土地利用、土地被覆の8項目のデジタル地理情報が公開

されているが、この整備体制を強化し、一層の高度化と時系列的変化を追える形態へと発展させる必要がある。

2003年9月のヨハネスブルクサミット、2003年3月第3回世界水フォーラム京都会議を受けて、洪水問題についての国際的な連携の必要性が確認され、この一環として、わが国が主体的な役割を担う取り組みとして国際洪水ネットワーク(IFNET)がスタートしている。ここでは洪水情報の共有のほか、水文情報の少ない国、地域を対象として、衛星を活用した洪水警報システムの構築などが進められている。さらに2005年秋に独立行政法人土木研究所内に設置予定のユネスコ水災害・リスクマネジメント国際センター(仮称)にて、世界の洪水・土砂災害に関する気象・水文データ、被害、その背景となる土地利用などの社会経済データ、危機管理体制と対応の実態、事後対策などのデータベースを整備する予定であり、国連機関の地域センターとしての役割を踏まえ、水災害情報収集、発信の国際的リーダーシップを担うべきである。

農水省ならびに農水関連研究機関が主導して、アジア各国や国際研究機関の参加の下、2004年に国際

コンソーシアム「国際水田・水環境ネットワーク(INWEPF)」を設立することとなっている。このINWEPFは農業用水分野が抱える問題を解決するため、モンスーンアジア地域を主なターゲットとして、研究分野、政策行動分野、国際協力分野の連携と情報交換を強化し、適切かつ迅速な対応ができる仕組みの構築を目指しており、わが国は当組織の設立・運営に対する国際的リーダーシップを一層発揮するべきである。

気象庁は、1979年から現在までの全球大気および積雪・土壌水分など陸面の状態を再現し、高品質かつ高精度な3次元データセットを作成する「長期再解析プロジェクト」を、財団法人電力中央研究所と共同して推進している。特にアジアモンスーン・台風などアジア地域に特徴的な現象を精度良く表現したデータセットの作成は世界で初めてのことであり、今後も、定常的な観測網の維持と観測データの蓄積に努める一方、気象モデルおよびデータ同化技術により時間的空間的な観測空白域を推定するシステムの開発・高度化が重要である。

2-6. 課題分析表

(「重点化の必要性」の欄の 印は特に重要度が高いものを示している)

分類	ニーズ	現状	ギャップ(問題・課題)	具体的な取り組み	重点化の必要性	重点化の視点(留意事項)
<p>1.水循環変動要素の正確な把握 2.水循環変動の総合的理解 3.水循環変動の予測精度向上 4.水循環変動の影響評価と望ましい水管理</p>	<p>(1)観測,モデル・予測,影響評価,対策シナリオ策定・技術開発,およびデータシステムの一貫した共同研究,技術開発,定常運用を企画,調整,運営,評価する持続的な体制が必要</p>	<p>個別機関で進められている観測,モデリング,影響評価,対策技術シナリオが地球水循環変動研究にシナリオのもとで統合的な検討が進められている</p>	<p>既存のプログラムの情報交換,協力体制の確立が主であり,わが国としての一貫した施策の展開となっていない</p>	<p>地球規模水循環観測,モデル・予測,影響評価,対策シナリオ策定・技術開発,およびデータシステムの企画・運営・評価の推進組織の設置</p>		<p>国際協力の推進 地球規模水循環観測の実施およびデータシステムの企画と構築 実施・達成状況の評価を基に運営の方向性の検当</p>
<p>2.水循環変動の総合的理解 3.水循環変動の予測精度向上</p>	<p>(1)アジア・オーストラリアとその他の水循環変動観測</p>	<p>GAME,CEOPなどによるアジア地域での国際協力,連携の基礎はできた GAME/SCSMEXなどによる単年度の強化観測データはアジアの精度向上 CEOP/CAMPなどによるサイトはアジアで14地点で実施中 赤道西部太平洋と一部インド洋でのTAO/TRITON観測網実施中 TRMM衛星,METEOSAT衛星による雲・降水観測は実施中 東アジア,東南アジアの一部で気象レーダによる観測は実施中 ストラトパラオ,タイで高層気象,GPS水蒸気量,水同位体の観測を実施中 太平洋 ENSOに伴う年々変動は定性的に理解されている</p>	<p>海洋大陸と南,東南アジアの一部地域の国との協力,連携が弱い インド洋と海洋大陸には大きな観測的空白域が存在し,全球気候予測精度を下げる大きな要因 海面,陸面での熱・水収支,雲降水システムの年々変動の実態解明のための長期観測体制が弱い 気象レーダ観測網が非常に不十分で,ウインドプロファイラ観測網も存在しない 包括的な観測データは少ない 二百年近くの雨量観測があるのに収集・デジタル化されていない 降雨実況解析や領域客観解析なし 観測空白域のため全球気候予測精度を下げる大きな要因</p>	<p>アジア・オーストラリア・オースン全域での観測協力・連携体制の構築が必要。特に加熱と対流活動の中心であるインド高原からインド半島,南シ海,インドネシア海洋大陸を含むインド洋・西部熱帯太平洋の暖水プール全体での観測が重要 サイトネットワークとする,気象レーダ・ウインドプロファイラ観測網の建設が必要 アジア地域レーダ拠点観測と既存レーダデータの有効利用が鍵 インド洋ネットワークの建設が必要 自動気象観測網,データ伝送網の建設が必要</p>		<p>WMO/WCRP/IHPなどの国際プログラムによる研究観測のリード体制が重要 各国の現業・研究機関および大学との連携・協力体制の構築 発展途上国での観測および研究体制構築のための能力開発が不可欠 観測データの共有と公開を促進するデータシステムの共有化が不可欠 衛星観測と地上(海上)観測の一体化体制 雲集団,日周期,季節内変動と季節・経年変動との相互作用の解明 観測データ伝送・集積・解析モデリングの連携・協力が必要</p>

				TRMM 後継機 (GPM など), GMS 後継機の早期実現が重要 CEOP などの経験, 蓄積を生かしたデータの共通化, 共有化が重要 レーダデータ解析, 領域客観解析の実用化が必要 アジア地域気候・水循環観測データセンターの設立が必要	
1. 水循環変動要素の正確な把握	(2) 降水の全球規模高頻度観測	地上雨量計観測 (全球約 10000 点) 地上レーダ観測 静止気象衛星による観測 衛星レーダ観測 (TRMM/PR) 米国, 日本の協力による TRMM/PR の降水の 3 次元分布, マイクロ波放射計観測の実績がある 衛星マイクロ波放射計観測 (DMS-13, 14, 15/ SSMI, DMS-16/SSMIS, TRMM/TMI, Aqua/AMSR-E)	発展途上国では地上雨量計観測データのリアルタイム収集が進んでいない国際交換されている地上雨量計観測は日降水量であるほかに, 分布が陸上の北半球に偏っている, 空間代表性が低い, 測定バイアスが考慮されていないなどの問題もある 地上レーダ観測はほとんど国際交換されていない 高緯度地方に対する衛星観測がない 変動の激しく, 観測頻度が不十分, 少なくとも 3 時間ごとの全球観測が必要 局地的な水資源の問題に対処するには分解能 (時間, 空間) が不十分 衛星による観測はその均質なデータの蓄積期間が十分でなく気候変動に伴う水循環変動の実態を把握できない	衛星による全球降水観測計画 (GPM) による 3 時間毎全球降水の観測の実現 GPM 主衛星搭載用二周波降水レーダ (DPR) の開発 DPR および衛星搭載マイクロ波放射計データを用いた降水強度推定アルゴリズムの改良研究 熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 搭載降雨レーダ (PR) の長期運用 TRMM/PR および衛星搭載マイクロ波放射計を用いた降水強度および降水の 3 次元構造推定方法の改善	衛星を用いた降水の全球観測の高精度化と高頻度化 衛星のデータを用いた降水分布推定値の実用化 雲・降水の 3 次元観測はモデル検証やモデル研究には重要であるが, 気象予測への効果の観点からいえば, 現状では地上降水データより優先度が落ちる 衛星マイクロ波データは, 降水量までリニアせずに輝度温度データを直接同化するの将来性ある方向なので, マイクロ波による水蒸気・雲水量鉛直積算観測と一体と見なすべきである 我が国は衛星搭載降雨レーダの最先進国 地上検証データや解析データとの整合性 長期にわたるデータの蓄積
1. 水循環変動要素の正確な把握	(3) 土壌水分の全球規模観測	わが国はマイクロ波放射計, 合成開口レーダによる観測実績がある 欧州, 米国で L バンドマイクロ波放射計の打ち上げ計画がある	土壌水分量の空間的に均質な全球の観測がない 森林帯や土壌タイプにより衛星観測精度が低下 定量的な衛星観測は始まったばかり	ADEOS-II/AMSR, 米国 Aqua/AMSR-E データを用いたアルゴリズムの検証, 改良 全球 1 日 1 回 10 km 分解能の観測プログラムの作成 ALOS/PALSAR を用いた高分解能土壌水分データの作成	わが国が開発した「みどり 2」搭載の AMSR, 米国 Aqua に搭載の AMSR-E は土壌水分センサとして現段階で最先端のセンサ わが国が開発した「ふよう」搭載の JSAR は初めての継続観測を実現した土壌水分観測に適した L バンド合成開口レーダ 地上検証データ, 解析データ, 季節予報モデルとの整合性 長期にわたるデータの蓄積

1.水循環変動要素の正確な把握	(4)積雪の全球規模観測	北半球の衛星(SSMI)による月平均積雪日数 北半球の月平均地点積雪日数 世界各国による地点積雪量観測	雪質の空間的な多様性を反映した全球観測がない 地点積雪量観測データの品質にバラツキが多い	全球1日1回10kmの分解能の観測データの作成	地上検証データや解析データとの整合性 長期にわたるデータの蓄積
1.水循環変動要素の正確な把握	(5)水蒸気の全球規模高頻度観測	ラジオ観測(全球約600点,世界時0時と12時) 衛星マイクロ波放射計観測(DMSP-13, 14, 15/SSMI, DMSP-16/SSMIS, TRMM/TMI, Aqua/AMSR-E) 衛星マイクロ波観測(NOAA-15, 16, 17/AMSU-B) 衛星赤外線観測(NOAA-15, 16, 17/HIRS, Aqua/AIRS, GOES-10, 11, 12/Sounder: 静止衛星) 衛星赤外線イメージング観測(GOES/Imager, Meteosat/MVIRI, Terra, Aqua/MODIS) GPS地上観測(米国約200点,欧州約100点)	陸上下層の衛星データのトリバルが困難 衛星トリバルの鉛直解像度が低いこと ラジオ観測は、鉛直解像度が高いが、南半球や海上では観測点が少ない ほとんどの時空間代表性が低い地域によっては無視できないバリエーションがある 衛星マイクロ波放射計観測は海上のみで、鉛直積算量の観測 衛星ラジオ観測は海上または対流圏中上層のみで、鉛直解像度が低い 衛星赤外線観測は雲の影響を大きく受ける GPS地上観測は陸上のみで、鉛直積算量の観測現状では準リアルタイムの国際交換がされていない (欧州GPS可降水量データについては近々GTS配信が開始される見込み)	ラジオ観測技術向上のための国際援助 航空機自動観測測器への湿度センサーの追加 GPS地上観測網の展開と、準リアルタイム国際交換の推進 衛星搭載次世代ラジオ(数千チャンネル)の気象予報への効率的同化法の開発 海上に加え陸上での1日4回10km分解能の観測データの作成	大気中の水循環のもっとも基本的なデータであるだけでなく、気象予測の観点からは相変化の結果である降水量データよりも重要である 高度データ同化法と高精度の数値モデルの採用によって、風の観測データから水蒸気の情報のある程度抽出することも可能なため、風など他の気象要素の高解像度観測の充実も有効である 衛星データから陸上の水蒸気の情報抽出するためには、陸面データ同化の開発の進展に期待するところが大きい
1.水循環変動要素の正確な把握	(7)雲の全球規模観測	衛星の可視及び赤外放射計を用いてほぼ全球の雲の水平分布が高頻度(最低1時間に1回程度)得られている 地球温暖化に伴う降水の変化を正確にモデルに反映させるためには、雲の3次元分布の現状を知りその分布を決定する機構を解明する必要がある 2005年にNASA/JPLはCloudSat衛星を打上げ、雲のレーダ観測実験を行う予定 日本は欧州と協力してEarthCAREミッションを計画中	雲の3次元分布は得られていない 雲の3次元分布が十分には把握されていないため降水変化を良い精度では予測できない	レーダとライダーによる雲の同時観測を実現し、雲粒の粒形推定を含めたより詳しい雲の3次元構造を観測	雲の生成消滅とそのフィードバックを考慮した水循環機構の理解の深化
2.水循環変動の総合的理解	(7)ユーラシア高緯度大陸域水循環観測	温暖化に伴い水循環変動が起こるが、北ユーラシアでは雪氷・植生変動がこれに大きく影響する いくつかの個別計画で北ユーラシア地域での水循環の観測研究が行われている 東シベリアの2箇所で、直接、水循環を対象とした観測研究が行われている(ロシア域: GAME-Siberia, 観測F, CREST(名古屋大学))	地表下の凍土の状態、水分量・雪氷量の現状・変化が未解明 蒸発等にかかわる植生機能の生理特性が十分には解明されていない 積雪水量分布の把握ができていない、長期変化がわかっていない(積雪面積は比較的精度良くわかっている)	寒冷圏水循環各種要素(水の安定同位体を含む)についての面的多点観測ネットワークが必要 モデル改善のためプロセス研究に関するスーパーステーションに類する集中観測領域が気候帯・地表面状態別に数箇所必要	WMO/WCRP/IHPなどの国際プログラムによる研究観測のリード体制が重要 寒冷圏研究についてはWCRP/CLIC, WCRP/CEOPによる推進体制をもとに実施するのが重要 WCRP/CLICの重要研究課題の一つとなっている 各国の現業・研究機関および大学との連携・協力体制の構築

		<p>シベリア南方モンゴル域2箇所 で、直接、水循環を対象とした観測研究が実施されている(モンゴル域:CREST(筑波大), 観測F) 環境変動, 衛星検証研究の一部として水循環に関係した観測研究が行われている(ロシア域:CRESTなど(北大), 極地研, JAXA 関係) 上記のうち、観測F以外は、集中観測に基づく短期的な観測研究である</p>	<p>高緯度降水量についての良質のデータセットが構築されていない 水循環変動に関わる要素についての長期的モニタリング体制が確立していない 北ユーラシアは、当該国の経済事情により、観測研究を進展させるのが困難</p>	<p>IPY を中心とした国際協力同時観測 降水衛星(GPM)が高緯度まで加えられるようにすることが必要 過去の降水データについての高精度化の作業が必要</p>	<p>発展途上国での観測及び研究体制構築のための能力開発が不可欠 観測データの共有と公開を促進するデータベースの共有化が不可欠 日本がイニシアティブをとり、当該国との協力観測体制を確立することが肝要 データ管理の一元化が重要 衛星観測と地上観測の一体化体制 国内において長期的に安定して観測を実施できる組織作り、拠点が必要 「地球温暖化」の課題としても関係する</p>
2.水循環変動の総合的理解	(8)ユーラシア高山域の水環境観測	<p>短期しかも部分的な実験的研究が、高山岳域に関連調査が短期的に行なわれている(北極・グリーンランド山岳域:名大, アルタイ山岳域:極地研・観測F, 東シベリア:北見工大) 大陸上の水源域であるにもかかわらず高山域における水循環の定期的観測点・長期的実験観測点は皆無に等しい 中国は国内に数地点の高山域観測点を持つ</p>	<p>観測点が皆無に等しい行われている場合でも小規模計画のもとで行われているため総合性、継続性がない 水循環変動性を把握するのに必要な要素をすべて測定しているわけではない</p>	<p>ユーラシア高山岳域における水循環要素についての地上観測ネットワークが気候帯 山岳域別に5-10箇所必要 高山域に特徴的な氷河・山岳凍土の変動状況に関する長期モニタリング, また気候変動に伴う変動性の把握が必要</p>	<p>WMO/WCRP/IHP などの国際プログラムによる研究観測のリード体制が重要 氷河・凍土関連部分はWCRP/Clicの重要課題とされている 各国の現業・研究機関および大学との連携・協力体制の構築 発展途上国での観測および研究体制構築のための能力開発が不可欠特に水資源における高山域の役割が重要となる半乾燥・乾燥, 寒冷域が対象 観測データの共有と公開を促進するデータベースの共有化が不可欠 衛星観測と地上観測の一体化体制 国内において長期的に安定して観測を実施できる組織作り、拠点が必要 「地球温暖化」の課題としても関係する</p>
2.水循環変動の総合的理解	(9)アジア域における代表地点での統合的、集中的な水循環過程の拠点観測	<p>各国の業務としての気象観測 我が国ではワイドプロファイルの現業ネットワークが作られている 放射はWMO-BSRN(地表面放射観測ネットワーク)観測が世界で実施中 GEWEX-CEOPとして世界36ヶ所, アジア・北アジア14ヶ所で大気フラックス, 気温, 湿度, 降水量, 気圧, 地温を地上数mから深度約百cmまで測定する研究プロジェクトが進行中</p>	<p>水循環要素を総合的に計測する測定項目と方法が統一されていない データフォーマットが完全に統一されておらず観測データの国際的な共有化は達成されていない 水文・気象の現業観測と研究用の集中観測がうまく組み合わせられていない 観測データのオンライン収集と品質管理体制が不十分 地上観測と衛星観測</p>	<p>アジア域水循環スーパーサイトネットワークの構築 アジア域における水文・気象現業観測データ共有に関する連携強化 経済性に優れた多点観測システムの開発し, アジア域水循環スーパーサイトや現業観測高度化拠点を中心に展開</p>	<p>アジア各国, 地域が協力して, 地域や対象を相互に分担して担当し, より総合的なシステムを階層的に構築 現業機関と研究グループの協力関係の構築 衛星観測, モデル開発, 予測精度向上の技術開発と連携 我が国の持つ技術や地域特性における強みを生かし, 我が国の独自性を確保する</p>

			とを組み合わせた運用が不十分 ライトプロファイラ、ライダーレーダ、フラックス観測など、高度集中的な観測が実施されないため、水循環の物理的理解、モデル検証に限界がある 短波、長波別測定の実施と東アジア・北アジアの測定点が不十分 途上国での観測モニタリング技術の欠如		
1.水循環変動要素の正確な把握	(10)アジア域での降水の集中観測	アジア全域をカバーしていない 観測頻度がまちまち データが系統的にアーカイブされていない	データの価値に対する各国担当者の理解	国際協力による既設レーダのマルチ観測ネットワークの構築 国際協力によるデータ集録・配信の統一	予測・理解のための基本的データであるという認識が必要
1.水循環変動要素の正確な把握	(11)アジア域での系統的な水蒸気の地上観測	我が国の他は主として研究用サイトであり、現業的利用は困難 大気中の水蒸気量の直接的把握が可能ト	広域ネットワークの形成に受信機のコストが高く、受信方式の統一が図られていない	国際協力によるGPSネットワークによるマルチ観測の構築 受信機・アンテナ・データ配信方式および解析手法の基準化と集中解析センターの設置	測地観測と水循環観測の協力の 実験研究サイトの現業的運営
1.水循環変動要素の正確な把握	(12)アジア域の降水・水蒸気同位体比の高頻度観測	IAEA/WMOも GNIP Global Network of Isotope Precipitation の 114 地点での降水の月レベル測定 個人研究者レベルの単発的な研究	アジアでの測定点が少ない(特に、パキスタン、モンゴル、中国西部、西太平洋の諸国、オーストラリア) 月レベルの降水測定のみ 分析技術の簡素化、迅速化、マルチ化	東アジア・北アジアのモニタリングネットワーク化への試み 途上国での観測モニタリング技術者の養成	大陸内水循環研究のためには、水蒸気から地下水までの陸水の同位体比測定は重要 同位体比のマルチレーザ特性利用による気団経路解析や気象数値シミュレーションへの適用
2.水循環変動の総合的理解	(13)アジア域での系統的な気象・水文の毎時自動観測と植生調査	CEOP にて世界 36 ケ所、アジア・北アジア 14 ケ所で自動気象・水文観測を実施中 地下水に関しては各国が業務レベルで測定を実施中 河川に関して、ユネスコ IHP の AP-FRIEND でアジアの主要河川の量的加算が製作中	アジアにおけるマルチ観測では毎時データが取得できないところが多い 土壌水分測定点が少ない(特にパキスタン、モンゴル、中国北部と西部および東南アジア) 東アジア・北アジアの地下水データ情報の不足 研究プロジェクトで設置された装置の長期維持が困難 データフォーマットの統一されていない 途上国での観測モニタリング技術の欠如 日本側の観測研究者不足	省力化された連続毎時観測システムの開発による、全天日射・正味放射・風向・風速・気温・湿度・気圧・地中温度・土壌水分・降水量・積雪深・植生の観測体制の確立 東アジア・北アジアの水文情報の総合収集とデータベース化 稼働中の AMSR-E および打ち上げ予定の ALOS-PALSAR による土壌水分データの有効利用 NOAA, AVNIR-2 の地表植生モニタリング 途上国での観測モニタリング技術者の養成	研究プロジェクトで設置された装置の長期維持体制の確立 無電源サイトでも対応できる観測装置の必要性 衛星(AMSR-E や PALSAR)と地上土壌水分測定システムの相互利用が重要 国際河川流域での総合的水文モニタリングが重要 東アジア・北アジアの総合水文モニタリングが重要 国際協力による途上国での観測モニタリング高度技術者および管理者の養成が重要

1.水循環変動要素の正確な把握	(14)アジア域での高層気象観測の再構築	WMO 活動として業務レベルの測定	途上国では測定点が少なく、測定回数も少ない 技術および技術者の欠如	東アジア・北アジアのスーパーサイトを含んだモニタリングネットワークの質・量的な充実 途上国での観測モニタリング技術者の養成	スーパーサイトへのレーダー等の新観測技術の導入 途上国での観測技術者の養成
2.水循環変動の総合的理解	(15)南極氷床域の水循環観測	定期的に南極地域観測調査隊が派遣され、各種分野の観測が行われている（極地研） 雪氷や気象気候分野では氷床上の気象現象・氷床のダイナミクスなどの研究が過去に行われたが、近年は古環境復元の研究が中心であった	昭和基地、ドーム基地などの定常的観測点では水循環に関する基本観測を行っているが、氷床全体を評価する観測体制は構築されていない 水循環について氷床全体ないし地域的な評価を行うことがデータ不足のためできない これまで氷床域の水収支を評価することのできる水循環の視点に立ったシステム的な観測研究が不足していた モデル構築・検証を意識した観測研究が不足していた 国際的観測協力による観測研究、総合的データセット構築が不足していた	南極観測について、水循環・海水面変動の視点での観測研究のプログラム化 水循環集中観測の多点観測ネットワークの構築 モデル構築・検証を意識した観測体制の構築 IPY を中心とした国際協力同時観測	WCRP/CLIC（雪氷圏と気候）研究計画が立ち上げられようとし、また IGY50 年を期した第 4 回極年（IPY-4；2007/08 年）が企画されている時期に、これら研究を推進することは時宜にかなった課題である CLIC 計画の重要課題とされている 観測データの共有と公開を促進するデータシステムの共有化が不可欠 衛星観測と地上（海上）観測の一体化体制 「地球温暖化」の課題としても関係する
1.水循環変動要素の正確な把握	(16)水循環観測に適する衛星センサ開発の研究の推進	信頼できる土壌水分のリモセンシングによる計測法は得られていない低周波のマイクロ波放射計を用いた計測法の研究がなされている TRMM の PR を用いた推定法が提案されている	低周波のマイクロ波放射計で土壌水分の推定が可能といわれているが、実際には人口（妨害）電波等の影響もあり、現在までのところあまり良い結果は得られていない 精度などで実用には役立たない研究レベルの段階である	現実的な環境での土壌水分とマイクロ波放射強度および散乱特性との関係の基礎データの取得	現実的な環境での土壌水分とマイクロ波放射強度および散乱特性との関係の解明
2.水循環変動の総合的理解 3.水循環変動の予測精度向上 4.水循環変動の影響評価と望ましい水管理	(1)水循環観測データの統合的利用システムの開発と国際的共有システムの構築	東アジア、東南アジア規模、地球規模の実験的なデータアーカイブ、公開（GAME、CAMP）の経験、実績 気象の現業観測は、観測の標準化、データ収集、品質管理、統一フォーマット化、アーカイブ、公開方法などが国際的枠組みの下に合意され、実行 地上観測、衛星観測、気象現業データの統合化研究（CEOP）の実施	時空間的な観測空白域の存在 衛星による統合化された地球規模水循環情報が提供されていない 地上観測、衛星観測、気象現業観測データ、モデル出力の継続的な統合化システムが未整備 観測データの流通性、公開性、利便性の向上と高度化を目的とするデータ統合化システムの開発と継続的運用が未整備 社会的に有用で詳細な情報への翻訳するシステム、その出力を国際的に共有するシステムが未開発	全地球を対象として、大量データの統合的利用のためのアーカイブ、統合化ツール、ユーザーインターフェイス、高度計算機能とのリンク機能を備えた「集中型データ統合センター」を設立 ネットワークでデータの統合的利用を実現する「分散型データ統合センター機能」を確立 東アジア、東南アジア域での水管理システムの開発 生態系保全と国土保全のためのグリーンデータ情報システム	複数の国、地域が協力して、地域や対象を相互に分担して担当し、より総合的なシステムを階層的に構築 現業機関と研究グループの協力関係の構築 国際的な基準（例えば ISOTC211 など）を基にシステムを構築するとともに、プロトタイプの実績を基に国際基準の構築へ貢献 我が国の持つ技術の強みを生かし、我が国の独自性を確保する

				の開発 作物栽培管理に おける水循環情報 システムの開発		
4.水循環 変動の影響評価と 望ましい水管理	(2)水 循環デ ータから 河川・ 水管理 に有用 な情報 への翻 訳と水 循環変 動の影 響把握 システ ムの開 発	衛星観測の水管理実務へ の利用,特に洪水,濁水など の水管理の実務に対する適 用の場面が少ない わが国の河川情報の公 開,流通は進んでいる	衛星デ ータの水管理指 標,河川流量,河川水位 河川・湖沼水質,取水量 潮位・波高への翻訳システ ムが確立されていない東 南アジア諸国では遅れて いる	衛星デ ータの水管理 指標への翻訳シ テムの確立に向けた 技術開発の推進 既往の水管理シ テム,流出デ ータ,降雨 予測デ ータ,水質デ ータとの結合		衛星デ ータの水管理指標 への翻訳システ ムの確立に向 けた技術開発の推進 既往の水管理シ テム,流 出デ ータ,降雨予測デ ータとの結合
2.水循環 変動の総 合的理解 3.水循環 変動の予 測精度向 上	(3)全 球デ ータ 同化に よる全 球長期 再解析 の実施	大気中の水蒸気,土壌水 分,積雪量等のデ ータを統合 するシステ ムとして長期再解析 が日米欧により行われてい る	日本においても 1979-2003年の長期再解 析を実施中だが水循環 デ ータの品質はデ ータによ り異なるまた長期再解 析の継続が不明 衛星を用いた観測デ ータの一層の高度利用が必要	長期再解析の高 度化(陸面過程,降 水過程)ならびに 一定期間毎の長期 再解析の再実行		アジ アのデ ータを生かした 再解析が必要 再解析デ ータのユーザと解 析者の密接な情報交換に よる再解析手法の向上 長期的な降水量観測の 必要性
2.水循環 変動の総 合的理解 3.水循環 変動の予 測精度向 上	(4)ア ジア域 でのミ スケ ルデ ータ 同化手 法の開 発	気象庁で予報業務の一環 として実施	衛星,レー ダ等で得られ た観測デ ータの一層の高 度利用が必要	ミスケ ルのデ ータ同 化手法の開発によ る観測デ ータの高度 利用・現象の理解 と予測の向上		非静力学デ ータによる再 解析手法の向上 アジ アのデ ータを生かした 再解析が必要 地上観測デ ータのない地 域の推定雨量算出による 水管理の高度化
1.水循環 変動要素 の正確な 把握	(1)観 測技術 力育 成・国 際プ ロジ ェクト 管理・ 推進能 力育成 の研修 センター の設立	東アジア,東南アジアにお ける研究的集中観測(GAME, CAMP)による人的ネットワーク確 立の経験,実績 JICAやUNESCOによる途上 国の気象や水文の研究者育成 プログラム	関連する国際的なプ ロジ ェクトを整合的に進め うる推進戦略が不十分 関係各国の教育・研究 コミュニティ,水文/気象現業 観測機関との有機的で 建設的な連携が不十分 国際プ ロジ ェクトの主催 側の専任プ ロジ ェクトマネ ージャーがない 途上国の水循環研究 プログラムのポ ートできる 研究者が不在 国内外の研究者や観 測技術者の観測技術力 を育成するとともに,国 際プ ロジ ェクトを管理し推 進する能力の向上を 目指す研修プログラ ムの開 発,提供が不十分 国政的調整,観測のマ ネ ジ メント,デ ータ収集と品質 管理,デ ータ統合化,デ ータ から情報への翻訳のた めの研究・技術開発・定	国際研修センターを 設立し,人材育成 能力開発を推進 複数の国,地域 が協力して,地域 や対象を相互に分 担して担当し,より 総合的なシステ ムを 階層的に構築		我が国の地域における リーダーシップを生かし,我が 国の独自性を確保する 各国および多国間の高 レベルの地球観測研究推進 多岐にわたる国際プ ロジ ェクトの連携・調整および 海外でのスムーズな研究遂 行のために専任プ ロジ ェクト マネ ージャーが不可欠 途上国の水循環研究の 向上と途上国での水循環 研究プログラ ムの立ち上げ を目指す

			常運用のための人的資源の重点的投入が不十分			
3.水循環変動の予測精度向上	(2)途上国への予報手法の技術移転	JICA や WMO による途上国の気象や水文の研究者育成プログラム		途上国への予報手法の技術移転 途上国職員の研修 共同研究を通じた途上国の研究者との共同研究		途上国に対する地球観測データの直接的な受益

3. 地球環境部会報告

3-1. 地球環境観測調査の全体的な意義と課題

地球環境は、各圏（大気圏、水圏、土壌圏、生態圏など）が地域から地球規模にいたる諸スケールで密接に関係しあって形成されており、また人為的な影響もこれらの各圏に直接的・間接的に及んでいる。従って、地球環境の観測調査は、それぞれの各圏での地域規模の事象（コンポーネント）の理解とともに、コンポーネントの相互作用、各圏の相互作用を含む諸スケールでの動態の総合的理解が不可欠である。しかしながら、現状においては各コンポーネントの観測が主であり、地域から地球規模の環境の総合的解析に資する観測は緒についたばかりである。このため、地域規模から全球規模の観測調査の連携と国際協力に基づく調査計画の策定が重要な課題となっている。

地球環境観測調査の意義は、人間が地球全体あるいは広範な地域の環境に及ぼす要素の変化を解明して対応策の検討に資することにあり、言い換えれば、人間活動と自然環境のバランスを維持する持続的なシステムの条件を探索することにある。このことは、具体的には、長期の観測調査により、地球環境問題にとって重要な観測対象の長期的な変化と短期的・中期的な変動のデータを取得し、さらにはそれらの観測データの総合的解析やモデル研究との連携を通して行われる。長期観測と観測データの解析研究はプロジェクト研究や将来予測の研究を支えるものであり、また、プロジェクト研究から新たな長期観測の対象が明らかになる。このような長期観測調査とプロジェクト研究の複合体から得られる科学的知見に基づき、地球環境保全のための有効な対策・行政施策が可能になる。

以上は全ての部会に共通することであるが、本地球環境部会では特に「物質とその変化」に注目し、大気組成あるいは大気汚染（大気質）と海洋汚染（水質）の課題を中心に扱う。これらは気候や水循環の変動、有害化学物質等による大気汚染・海洋汚染の問題に関連して、今後ますます重要になってくる。同時に、「物質とその変化」の観測調査の独自性と重要性、他の部会（地球温暖化、地球規模水循環、定常観測、地球科学、生態学）との役割分担も踏まえて、大気圏環境観測調査（対流圏・成層圏の観測調査）及び海洋環境観測調査（油類及びプラスチック系浮遊物等・難分解性有機汚染物質の観測調査）を本部会の調査検討の課題として設定した。以下にこれらの課題の概要について述べる。

3-1-1. 大気圏環境観測調査

対流圏・成層圏は昨今の人間活動の量的、空間的拡大に伴って生じる環境への広域影響が如実に現れるところであり、また気候の変動に深くかかわっている領域としても重要な監視対象である。特に、最近の人間活動の拡大にともなう大気環境負荷の増大、

輸送手段の進歩・拡大に伴う成層圏飛行の開始による成層圏の汚染などから大気負荷物質の輸送・変換過程の解明、物質と大気放射・熱収支の関係などの観測調査が一層重要となっている。

さらには、観測調査の成果の総合的な利用体制、すなわち、観測結果を用いて地球環境の要素の変動や長期変化について解析する体制、地域規模から全球規模の化学輸送モデルの検証や化学輸送モデルを用いたデータ解析を行う体制が不可欠である。

[対流圏の観測調査]

対流圏短寿命化学種を対象とした地球観測は、グローバル大気質変動、地域的気候変動の把握の視点から重要であり、その体系化が不可欠である。大気質変動はメガシティ（人口の都市集中化による巨大都市）での大気汚染、広域・半球規模大気汚染など大気汚染の新しい局面の把握及び、大気の酸化能のトレンドなどに関わっている。対流圏化学種の定常的な観測は、これまで主として WMO/GAW, NOAA/CMDL などの地球規模観測ネットワーク及び EMEP, EANET などの領域規模観測ネットワークによって行われてきた。一方、対流圏短寿命化学種を対象とした衛星センサは、最近欧米で GOME, MOPITT, SCHIAMACHY などが次々に打ち上げられているが、日本では全く計画がなく、計画の策定が急務である。

一方、エアロゾル・オゾンなどの大気汚染物質の放射影響を通じた地域的気候変動への影響が注目されている。エアロゾル観測においては、単に濃度のみならず、粒径分布、形状、表面状態、化学組成、混合状態なども重要な情報とされ、気体の観測と多くの違いがある。また、リモートセンシングでは推定しがたい要素もあるために、直接採集したエアロゾル試料の分析に基づく知見がきわめて重要である。後述するように、リージョナルあるいはグローバルな規模では数キロ上空の自由対流圏でのエアロゾルの状態を把握する事が重要である。このため、気球や航空機を使った直接採集が不可欠であるが、日本のこの方面での技術開発はアメリカとヨーロッパ諸国に比して相当に遅れており、早急な対応を必要とする。また、アジア大陸の諸地域から発生する砂塵、工業化・人口増加にともない放出されるエアロゾルの量は世界的に見ても極めて大きく、この地域の季節風や海陸分布などの気候的・地理的条件が絡んで独特の複雑さを呈している。強い砂塵の発生源を大陸中部から西部に持ち、巨大な都市を沿岸域に持つ中国、西風によって日本海や東シナ海を渡ってくる大陸起源大気の影響を受けやすい日本列島、さらに西風によって運ばれるエアロゾルが降下する太平洋を含むこの地域での観測の実施においては、日本がリーダシップをとって行うべき課題が多い。

アジアにおいてエアロゾル、オゾン前駆物質についての情報を総合的かつ時間的に連続に測定するス

ーパースイトの展開が重要であるが、我が国における適地への本サイトの設置は非常に効果的である。

[成層圏の観測調査]

オゾン層の長期的観測は、「オゾン層の回復」の確認、それを左右する気候変動や水蒸気、 N_2O 、火山噴火によるエアロゾルや極域成層圏雲等の影響の把握、逆にオゾン層の変化が気候変動に及ぼすフィードバック効果の確認等を目的として行なわれている。地球規模の長期的な成層圏観測は、世界気象機関(WMO)の世界オゾン観測システム(GO₃OS)、衛星観測、地上からの遠隔計測を中心とする「成層圏変化検出ネットワーク(NDSC)」によって行われてきたが、赤道付近(特にアジア)、中南米、アフリカの観測空白域の地上からの観測を強化することが必要である。また、地形的に特殊な領域(アジアにおいては、例えばチベット)も注目すべきである。なお、日本では、気象庁によるGO₃OSの観測、ライダーを中心とするNDSCへの参加、ILAS、ILAS-IIによる衛星観測が大きな成果を上げている。しかし、今後の長期的な成層圏大気化学衛星の計画がない現状では、成層圏単独あるいは成層圏・対流圏複合の大気化学衛星による監視の計画策定が特に重要である。日本の南極昭和基地はオゾンホール発見をはじめ微量気体、エアロゾルのバックグラウンド観測などで重要な寄与をしている。北極域では、日本は、国際協力によるライダーや気球によるエアロゾル、オゾン等の観測に参加してきたが、北極域のオゾン破壊の観測による監視が弱体化する兆しがあり、効率的な観測体制の再構築が望まれる。また、国際的に高い水準の観測装置の開発についても、引き続き取り組むことが重要である。

3-1-2. 海洋環境の観測調査

人間の社会経済活動が拡大して社会生活が多様化し、海洋の開発利用が社会経済の発展に貢献する度合いが増加する一方、広域にわたる海洋汚染が次第に顕在化してきている。このような中で、海洋環境に関する社会の関心の高まりや国内外の要請に応じて、海洋汚染の防止や海洋環境の保全等に資するために、わが国では気象庁、海上保安庁、環境省、水産庁等が中心になって海洋の各種モニタリングを実施してきている。しかしながら、その海域は北西太平洋、日本周辺海域、閉鎖性の高い主要湾域等の沿岸海域が主な対象となっている。

一方、社会経済活動のグローバル化が進む中で、汚染物質の大気経路、海洋生物の食物連鎖等を通しての広域かつ長期的な海洋汚染が顕在化してきた。地球環境の重要な部分を担うグローバル海洋環境を保全するためには、グローバル海洋汚染の実態・影響を正確に把握することが重要であるが、海洋はその対象域があまりに広大であることもあり、ほとんど手つかずといって過言でない。我が国および諸外国においても海洋環境観測の必要性は認知されてき

ており、従来に比し大規模かつ長期の観測が開始されはじめているが、まだ十分であるとは言えない。また、海洋循環過程、大気輸送過程、海洋大気相互作用、生物過程を結合した海洋環境動態モデルの構築も必要とされる。

以上から、今後の海洋環境の観測においては、外洋を含むより広域の海洋汚染の実態を把握するとともに、海洋の物理、化学、生物に関する観測を継続的に行い、海洋環境の長期変動解明のための基礎データを取得することが不可欠である。

対象物質としては、人為起源汚染物質の全てが対象となるが、中でも生態系への影響が懸念される難分解性有機汚染物質・油類、大気中で長距離輸送され海洋に降下するエアロゾル・酸性物質、船舶により輸送されるプラスチックなどが挙げられる。こうした汚染は海水のみならず、底泥や生態系に及んでおり、広域にわたる総合的な調査観測が必要である。また、突発的な汚染事故への対応のためにも、汚染物質の定期的・継続的観測によりグローバル海洋汚染のバックグラウンドレベルを把握し、速やかな情報提供ができる体制を確立する必要がある。

3-2. 対流圏観測調査

3-2-1. 背景

対流圏観測調査の対象には二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素等の長寿命温室効果ガスによるものから、エアロゾル、オゾン及びそれらの前駆体ガスを含む短寿命化学種によるものが含まれるが、前者は「地球温暖化」の部会で扱われるので本項では後者の短寿命成分のみを対象とする。ただし、通常、長寿命温室効果ガスとされるメタンは、大気寿命が8年と比較的短く、その濃度は他の短寿命化学種の変動によって左右されるので、両者は決して独立ではないことに注意すべきである。ここで対象とする短寿命化学種の大気寿命は長いもので数ヶ月、短いものではラジカル類の数秒というオーダーであるが、これらはエアロゾル、オゾン、一酸化炭素、窒素酸化物、二酸化硫黄、揮発性有機化合物(VOC)など通常の意味での大気汚染物質である。一方、エアロゾル、オゾンを初めとするこれらの化学種は同時に地域の気候変動・温暖化に対しても重要な役割を演じていることが注目されている。さらに、成層圏と対流圏両者の物質交換を通じての結合に関心が集まるなど、将来的には「温暖化」「オゾン層」「大気汚染」などのいわゆる問題別にとらわれない「一つの大气」の視点からのサイエンスとそのための観測が求められるであろう。

発展途上国の経済急成長に伴って、アジアからの大気汚染物質の排出とヨーロッパ及び北米先進国の排出の大きさが、21世紀の初頭には大陸規模でほぼ拮抗し、「グローバル大気汚染」と呼ぶべき大気汚染のグローバル化が進行している。具体的には、途上国及び急発展途上国を中心に人口の都市集中化による「メガシティ」の増加とそれに伴う大気汚染被害

の激化，長距離越境汚染による近隣国への大気汚染影響の増大，さらにはオゾンやエアロゾルなど短寿命化学成分の中では比較的寿命の長い汚染物質については半球規模汚染の視点からの議論の必要性が大きくなっている。

一方，産業革命以来の地球温暖化トレンドが，エアロゾルの増加による温暖化抑制効果を入れることによって，初めて定量的に良い一致が得られたとする IPCC 報告以来，エアロゾルは地球温暖化の視点から大きな注目を集めてきた。また対流圏オゾンは IPCC 報告ではメタンに次ぐ 3 番目に重要な温室効果ガスとして，その重要性が注目されている。エアロゾル・オゾンのような短寿命化学種は，その分布が空間的にも季節的にも大きな地域的不均一性を持っているのが最大の特徴であり，これらは地域的气候に対しては二酸化炭素に匹敵する大きな影響を与える可能性が高い。

3-2-2. 観測の二-ズと現状及び課題

上述のように気候・環境影響の視点からの短寿命対流圏化学種の継続的観測は極めて重要になりつつあるにもかかわらず，これらの対流圏観測は長寿命温室効果ガスに比べて非常に貧弱である。短寿命化学種は，歴史的には「大気汚染物質」として都市大気など局地的環境問題の対象として扱われてきた経緯から，都市レベルでの行政的モニタリングが中心であり，最近重要性が認識されてきたグローバルな大気環境の視点からの観測網は極めて不十分である。その中では東アジアにおける越境大気汚染を視野に入れた広域の観測網として環境省主導の「東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (EANET)」が参加国 12 カ国を擁して 2001 年 1 月から稼働していることが特筆される。ここでは都市の他に郊外ないし遠隔地点における観測サイトも含まれているが，これまでの経緯から降水成分のモニタリングが中心であり，今後さらに広域大気汚染の視点からのエアロゾル，オゾン及びそれらの前駆体物質のモニタリングへの拡張が大きな課題である。我が国の場合，EANET 観測サイトとして利尻，佐渡，隠岐，沖縄辺戸岬などの離島での観測が充実しているのが大きな特徴であり，大陸からの越境大気汚染を捕捉するには理想的な配置を有しているが，各サイトが無人稼働であることが，測定項目のさらなる充実を図る上での弱点となっている。また，気象庁においても GAW (Global Atmosphere Watch) の一環で綾里や南鳥島において降水の化学分析が行われており，それらの地点を含む GAW の降水化学観測地点のデータは WMO 降水化学データセンターにおいて一括して収集・提供されている。

我が国の気象庁によるオゾンゾンデ観測は，札幌，つくば，鹿児島における 1968 年からの長期の実績を有し，さらに那覇において約 10 数年前から開始されており，長期データの蓄積とそのデータの質が高いことが高く評価されている。オゾンゾンデ観測は本

来成層圏オゾンのモニタリングを目的に開始されたものであるが，最近では同時に得られる対流圏オゾンのデータに対する利用も進んでいる。一方，大気化学種の地表濃度に対する気象庁主管の観測は，WMO/GAW (Global Atmosphere Watch) 観測網の一環として南鳥島がベースライン・ステーションに，綾里がリージョナルステーションに位置づけられて過去約 10 年の CO_2 ， CH_4 ， CO ， O_3 ，トリクロロエタン等のデータが蓄積されている。1997 年からはさらにリージョナルステーションとして与那国が加えられている。我が国の WMO/GAW 観測網においては，データ利用などを含め研究者コミュニティとのより強い協力関係の構築が今後の課題であろう。また，環境省国立環境研究所は 1993 年から沖縄県波照間，1995 年から北海道落石岬で CO_2 ， CH_4 ， O_3 などのモニタリング観測を行っている。

これら環境省，気象庁のオペレーショナルな観測網を除いては，研究者がプロジェクトベースで対応しているのが実情であり，対流圏観測として組織的に実施されているものは非常に少ない。それらの中では日航財団/気象研究所が 1993 年以来約 10 年間行ってきた日本航空定期便を利用した上部対流圏の CO_2 ， CH_4 ， CO のモニタリングはユニークであり，貴重なデータを提供している。また，JAXA (元は NASDA) と大学等の研究機関が共同で実施してきた，BIBLE (Biomass Burning and Lightning Experiment) 航空機観測キャンペーンは，インドネシア・オーストラリア地域でのバイオマス燃焼によるオゾンの化学・輸送過程を定量的に解明した。高時間分解能・高精度の測定器を用いることによる航空機観測が，鍵となる過程の解明に極めて有効であることを示した。また PEACE (Pacific Exploration of Asian Continental Emission) 航空機観測キャンペーンは，東アジアのオゾン・エアロゾルおよびそれらの前駆気体の化学・輸送過程の理解の進展に画期的な知見をもたらした。多くの研究者による数年間の離散的なデータは，学術論文としては積極的に発表され優れたプロセス研究成果を挙げている一方，データベースとして後に残らないのが問題である。今後特にグローバル大気汚染・気候変動の視点からの継続的観測システムの整備と研究プロジェクトで得られたデータの集積・公表のシステム作りが急務である。

グローバルスケールにおける大気エアロゾルの観測の重要性が認識されるようになったのは，1970 年代に気象衛星の可視・赤外画像が得られるようになってからであろう。アジアではタクラマカンやゴビ砂漠から巻き上がった砂塵が太平洋の方向へ拡散してゆく様子がしばしば観測され，大気組成の長距離輸送 (あるいは広域拡散) 機構について各地で観測が行われた。この時期の観測は，個々の研究者の研究規模を出るものでなかった。ライダーによる黄砂の観測が日本ではじめて試みられ，砂塵の拡散機構を研究する上でこの観測手段が極めて有用であることが示されている。

その後、航空機を使ったエアロゾル観測が1980年代から盛んになってきたが、欧米に比べ格段に観測時間が少ないために、技術上の積み上げが少ないことが大きな障害になっている。気球による観測は、一部は世界レベルにあるものの経験する機会が少ないことが、優れた分析技術、電子技術や通信技術を生かしきれていない状況を生んでいる。一般的に、航空機や気球を使用する観測は、大掛かりな地上施設や支援作業が必要である。このため、研究者個人の規模で実施するには多くの困難があり、いきおい単発的な観測になりがちである。このような事情は現在も変わらない。

1990年代に入って東アジアの大気エアロゾルは次第に世界の研究者の目を集めるようになった。90年代半ばに、アメリカの研究者が中心になってアジアでのエアロゾルの特性の解明を目指したプロジェクト「ACE-Asia」が提案され、多くの国が参加して2001年に実施された。日本では、このプロジェクトに呼応するようにいくつかのプロジェクトが実施されたが、なかでも気象庁気象研究所や理化学研究所が中心になって行っている「アジア内陸部起源の風送ダストの発生・長距離輸送に関する研究：ADEC（1999-2004年）」は、日本・中国の2国間協定に基づいたプロジェクトであり、中国での大掛かりな現地観測を中心に行っている点で際立った特徴を持っている。

このプロジェクトを通して、ライダーネットの整備、GPSつき気球やラジコンによる自由対流圏でのエアロゾルの直接採集、など注目すべき手法が登場してきている。偏西風の風上にあたる地域での大気エアロゾルに関する知見は、風下側にあたる中国大陸沿岸部、朝鮮半島、日本列島、台湾、太平洋さらにはアメリカ西海岸などの大気エアロゾルやその環境影響を理解するうえできわめて貴重なものである。しかし、一連のプロジェクトが終わった後、プロジェクトのために建設された数多くの観測拠点は廃止・撤去される。このことは、監視点の密度が少ないアジアにおいては特に大きな問題になる。プロジェクトを通して形成された観測のネットワークを有効に利用する手立てをすると同時に、それらを長期の監視点として整備することがきわめて重要である。

人工衛星で画像データが得られるようになったときいち早く黄砂の空間広がりの評価に使用されたことからわかるように、人工衛星の利用は早くから行われたが、今日的な問題に対処するには、一般的には感度が著しく弱く、観測できるのは、きわめて高濃度の黄砂や森林火災などの煙などである。このため、更に感度の高い観測が求められる。この種の高濃度エアロゾルの監視が重要であることは明白であるが、いまでは低濃度の恒常的に存在している大気エアロゾルの動向が東アジア地域における大気環境を考える上で重要な役目を果たしているのではないかと考えられるようになってきているからである。人工衛星では検出できないような濃度レベルのエアロゾ

ルであっても、ライダーでは容易にそれらを検出できるので、東アジア規模のライダーのネットワーク作りとそれを長期にわたって運用することは極めて重要であろう。

3-2-3. 観測成果・データの集積と活用の現状

上に述べた継続的・定常的な観測のうち、オゾンゾンデデータはカナダのデータセンターに集積・公表され、対流圏オゾンデータがこれまで我が国を含め世界中の研究者によって活用され、多くの論文に解析結果が報告されている。WMO/GAWステーションの地表オゾンデータに関しては、これまで世界的なデータセンターの整備が遅れていたが、最近我が国のWMO WDCGG(World Data Center for Greenhouse Gases)に他の温室効果ガスやCO₂と並んでデータが集積される体制が確立された。地表オゾンについてはこれまでは個別に論文などで報告されているデータをモデルの検証などに活用して来た例が多かったが、今後はWDCGGから公表されるデータの活用がさらに進むことが期待される。ただし、現状ではアジアのWMO/GAWステーションからのデータ報告がほとんどなされていないのが問題である。

EANETに関しては新潟の酸性雨研究センター(ADORC: Acid Deposition and Oxidant Research Center)がネットワークセンターとして認められ、データの集積、公表が開始されているが、参加国による検証後、ホームページで公開されている。公表されている降水データに関しては、我が国などの研究者により活用され、既に国際学術誌に論文として報告されている。

これら以外の観測データに関しては、一元的なデータベース化は未整備であり、当該プロジェクトの研究者の枠を越えてのデータの活用は、一般にはほとんど行われていないのが実情である。今後、公的資金を用いて行われたプロジェクト研究から得られたデータに関しては、必ず一カ所のデータセンターにデータを集積しなくとも、最低限電子化によるデータ公表を行うことをルールとし、その情報のネットワーク化を進めることが必要と思われる。

エアロゾル観測に関するデータでは、広く市販されている装置によって得られたデータが使われている一方で、個々の研究者や研究グループが独自に開発した装置を使用して得ているデータも相当に多い。機器の違いから生じるデータの違い、あるいは同種の機器であっても使用・運用形態の違いなどによって生じるデータの違いなどを系統的に処理・解釈する必要がある。これまでは、個々の研究者の間で非定期的に行われているにすぎない。この種の仕事の重要性は広く関係者の中で理解されてはいるが、時間と手間のかかる仕事であり、その上この種の仕事を行うための公的な資金が得にくいために、手付かずのままになっている。このような状況は、先進国においても変わらない。それ故、わが国が率先して、データの質や互換性などについて検討する場を設け、

さらにはそれを専門とするグループを組織化してデータの質や互換性について発言できる地位を築くべきであろう。また、その種の作業を通して、データを広く関係者に使用せしめるネットワーク作りを行うべきであろう。

3-2-4. 今後の取り組みが必要な観測項目とそのニーズ

対流圏観測で対象とされる観測項目は、

- 1) ガス状微量成分 (O_3 , CO, NO_x , SO_2 , VOC(揮発性有機化合物), PAH(多環芳香族炭化水素)など)
 - 2) エアロゾル(化学組成 (EC(元素状炭素)/OC(有機炭素)を含む), 物理的性状, 放射特性, 表面過程)
 - 3) 降水成分 (イオン成分, EC/OC, 土壌成分など)
 - 4) 残留性有機汚染物質 (水銀, POPs など)
- などのカテゴリーに分けることができる。

これらの内、ガス状微量成分、エアロゾルに関しては、東アジアだけでなく、東南アジア、南アジアを含め化石燃料燃焼、バイオマス燃焼の両者を原因とする広域大気汚染の継続的観測が、気候・環境影響の視点から急務である。しかるにアジア域における現状としては、上に述べた WMO/GAW, EANET 以外の地上観測網としては、各国とも都市大気汚染を対象とした行政ベースのモニタリングステーションが存在するのみである。WMO/GAW に関しても上に触れた我が国のステーション以外には、中国に数カ所、インドネシアに 1カ所存在するのみで、アジア全域からすると極めて不十分である。また EANET に関しても我が国以外では都市汚染観測サイトを除いて地域代表性のある郊外・遠隔観測サイトの数は不十分である。今後アジア全域において、地域代表性のあるサイトでのガス状微量成分、エアロゾルのモニタリングを拡充するため、我が国が協力する必要がある。

また我が国自身に関しては、オゾンの流入が環境基準を超える高濃度オゾンをもたらしており、微小エアロゾルについてもその越境汚染が我が国の環境基準達成を阻害する大きな要因となっていると推定されること、さらに気候変動の見地からエアロゾルの化学組成、物理特性、放射特性の継続的観測が重要なことから、上記の定常的な観測サイトに加え、研究者が積極的に関与するパーマナントな施設を持つグローバル・リモート観測サイトの建設が必要である。なお、現状ではエアロゾルの測定の時間分解能がガス状汚染質の時間分解能に比べて不足している。今後、出来るだけ時間分解能の高いエアロゾル測定が重要となる。

また、全球的平均 OH ラジカル濃度を求めるためには、たとえば 1,1,1 トリクロロエタン(メチルクロロホルム, CH_2Cl_2) など放出が人為工業起源に限られてその量が比較的正確に把握されており、一方消失が OH ラジカルに限られる大気成分の、地点における全球的な観測のネットワークの整備が不可欠である。

EANET の整備により、降水成分観測に関しては他

の物質の観測に比べてむしろ先行的に充実しつつあるが、これまでの観測項目はイオン成分が中心であり、今後気候変動の視点から重要な EC/OC(元素状炭素/有機炭素)などを観測項目に加えてゆくことが望まれる。特に EC ないしブラックカーボンはその除去過程として降水中への取り込みが最も重要と考えられており、その地域的収支の観点からも、降水中の観測が重要である。

大気汚染に関しては、最近越境汚染を含む大陸規模汚染からさらに半球規模汚染の視点からの議論がなされている。ここで対象とされるのは短寿命成分の中では比較的大気寿命の長い、 O_3 , CO などであるが、その他に水銀, POPs などの残留性汚染物質が含まれる。半球大気汚染の視点からはこれら残留性汚染物質を含め、アジア全域にわたるリモート地点での継続観測が必要である。なお、アジアにおいては「メガシティー」に人口が集中する傾向が続いている。「メガシティー」から排出される一次大気汚染物質とその光化学生成物(エアロゾル, オゾンなど)はさらに反応しながら周辺部に流出する。自由対流圏に運ばれたものは長距離輸送され地球規模に拡散する。アジアにおける大気汚染物質の変質・輸送過程を調べる上で、アジアの「メガシティー」周辺部の大気汚染物質挙動と長距離輸送された結果を比較対照する視点での地上・航空機観測が有効であることが示されつつある。

以上、地上ベースの地表濃度観測について述べたが、対流圏観測においては今後衛星観測の重要性が増加することは論を待たない。対流圏化学種を対象とした衛星センサは我が国では全く開発されていないが、欧米では GOME, SCIAMACHY, MOPITT などのセンサが最近次々に打ち上げられ、データ利用が盛んである。我が国においても打ち上げの機会を増やすために、これまで大気化学センサが搭載されていた大型衛星だけでなく、小型衛星にも搭載出来るセンサ(紫外・可視・赤外分光撮像)の早急な開発とコストパフォーマンスの高い対流圏大気汚染監視衛星観測へのニーズは極めて大きいものと思われ、今後我が国でもより真剣な議論が必要である。

また地上観測、衛星観測以外の観測プラットフォームとして、温室効果ガスを主な目的とした航空機観測、エアロゾルを対象としたライダー観測が、我が国ではこれまで関係者の努力により継続されてきた。今後、さらに長寿命温室効果ガス以外のガス状微量成分を含む航空機観測、対流圏オゾンを対象としたライダー観測の拡充が望まれる。

わが国が置かれている、地理的あるいは気候的環境を考えると、自由対流圏大気エアロゾル, VOC などの監視はきわめて重要である。すでに、黄砂の現象でよく知られているように大陸から太平洋に向けての大気微量物質の拡散は極めて活発である。それらがもっとも顕著に見られるのが自由対流圏であり、この高度の大気を監視するには気球(小型気球, 大型気球)・航空機等を用いた観測、山岳(高山・孤立

峰が望ましい)・離島等での観測,地上あるいは宇宙からのリモートセンシング(人工衛星,ライダー)などが併せて用いられるのが一般的である。

しかし,わが国の現状は,気球は気象庁の定常業務にその多くを頼っており,測定項目は極めて限られたものに過ぎない。また,大型の科学気球は宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部の三陸の気球実験場においてのみ可能な状態にある。エアロゾルの直接採集を目的とするような気球実験は,気球(試料)の回収が本質的であるために日本国内での運用には極めて高度な技術が必要である。しかし,広大な中国ではこの種の作業の難度ははるかに低くなり,現に中国で気球実験を行った研究グループは,かなりの頻度で試料の回収に成功している。韓国などでも気球実験への期待は大きく,このようなことから,日本,中国,韓国を視野においた気球観測実験所の建設あるいはそのネットワークの構築が望まれる。

航空機による観測では,高時間分解能・高精度で,多成分(トレーサーとなる成分を含む)を同時に測定できるため,大気化学過程を定量的に理解する上で重要な知見がもたらされる。オゾンやエアロゾルの放射収支への影響はそれらの高度分布に強く依存するため,高度分布の情報を得ることは本質的である。また,気候へのエアロゾル間接効果であるエアロゾルと雲との相互作用を定量的に研究する上で,航空機による直接サンプリングによってエアロゾルの組成や粒径を測定することが必要である。さらに,大気汚染物質の大陸間のフラックスには自由対流圏中での輸送過程の寄与が大きい。長距離輸送効果を定量的に評価するためには,航空機観測による3次元化学物質観測データが不可欠である。

大気成分の高精度・高時間分解能の計測は未知の化学過程を調べ,既知の化学過程を定量化する上で本質的に重要である。高時間分解能測定は高速で移動する航空機だけでなく,地上観測においても重要であることが示されつつある。従って,このために,新しい測定法を開発する努力の継続は常に必要である。特に近年,質量分析技術やレーザー分光技術を利用した,気体,エアロゾルの測定法が開発され,これまでの測定法を一新しつつある。大気観測用のプラットフォームの整備と並行して,先端的測定技術,自動観測装置の開発を行うことが重要な課題である。

日本での山岳の利用は,気象庁の富士山測候所のように歴史の長いものはあるものの欧米の山岳観測所に比べ観測対象が著しく少ない。ユングフラウヨッホ,ツークシュピッツェ,マウナロア,などは長い歴史を持った,山岳に設置された大気観測所であり,気象要素のみならず,各種のガス,エアロゾル,大気イオン,同位体,など大気環境を理解する上で必要と考えられる組成について幅広い監視が行われている。山岳での観測は,航空機や気球では行えない長時間のガスやエアロゾルの採集が可能であり,航空機観測や気球観測が不可能な天候の下での観測も

可能である。気球観測や航空機観測と山岳での観測を組合せることにより,利用価値の高い情報が得られる。このような観測のためには,既設の山岳観測所を格段に拡充することで,新しく建設する場合に比べはるかに少ない時間と労力で大気環境の長期監視拠点を作ることが出来る。なお,高所山岳における有人・パーマナントな観測点として国内で最も高所に位置する富士山測候所においては,70年以上の継続した気象観測の歴史を持つものの,大気化学に着目した観測の歴史は10年ほどしかない。気象庁は富士山測候所無人化の準備を進めており,自由対流圏における連続・高時間分解能での大気環境監視の機会が失われることが懸念されるが,富士山測候所を日本の貴重な高所山岳での大気化学観測拠点として利用することに道を残すことは,早急に取り組むべき課題である。

3-2-5. 今後10年間の取り組みの重点項目

今後10年の対流圏観測の最重点事項としては,

- 対流圏化学衛星観測
- 定点通年総合大気化学観測
- 空機大気化学観測

の3項目を挙げることができる。

大気化学種を対象とした衛星観測に関しては我が国では,成層圏化学センサが先行して開発され,対流圏を対象としたものとしては現在CO₂センサの開発が行われている。また,エアロゾル・雲などを対象とした画像センサは既に多くの科学的活用がなされている。これに対し対流圏化学衛星センサは,実用的,科学的有用性が非常に高いにも関わらず,我が国では開発を促進する議論が不十分で,欧米に比べて大きく後れを取っている。特に上に述べたように我が国では,アジア越境大気汚染の影響が今後さらに深刻化することが予想され,この視点からアジア大気汚染監視衛星はアジア越境大気汚染防止条約を目指した環境安全保障の一環としても優先度の高い施策として位置づけられる。この視点からは,環境省が主導しているEANETを,将来,降水のみならず大気汚染物質一般を含むアジア大気汚染地上観測網として拡充し,同時にアジア大気汚染監視衛星による観測を行うことが,我が国による国際貢献並びに我が国自身の環境を守る意味で,車の両輪として最も重要であると思われる。このような,静止衛星による対流圏大気汚染成分等の観測についてはIGACなどで国際的に推奨されているところでもある。

一方,地上観測に関しては,定常的な観測を行う機関と研究者コミュニティとの間をつなぐ定点通年総合大気化学観測サイトの建設が最重点項目としてあげられる。すなわち,永続的インフラストラクチャーが整備され,常時定常的な観測が行われると同時に,研究者が必要に応じて自らの新しい機器を持ち込み,また外国の研究者を含め,キャンペーン的な集中観測が出来るようなサイトである。これによって,我が国の定常的な観測データを研究者が十

分に活用、解析して論文に発表する土壌が醸成され、一方最先端の研究情報が定常的な観測に反映される等、キャンペーン観測を行う研究者と定常観測を行う機関の双方にとって有益な関係ができることが期待される。このようなサイトは、国際的にはスーパーサイトとよばれているが、米国のマウナロア、オーストラリアのケープ・グリム、スイスのユングフラウヨッホなどはそのような機能を果たしているといえよう。我が国でも少なくとも1カ所、そのような国際的に認知されるスーパーサイトの建設が必要である。もちろんそれ以外にも何カ所かの研究者の共有できる地域代表性を持った大気化学ステーションが、スーパーサイトを補完するために必要であり、そのようなサイトの整備も同時に行われる必要がある。さらに、 O_3 、CO、ECなどの短寿命成分についての標準供給およびデータQCの体制は確立していないが、長期トレンドの検出や広域分布の把握を目指して観測網の総合化へ向かうことが重要である。その際、高精度標準の導入と、データや標準ガスについてのトレーサビリティ（遡り可能性）についての広域的なネットワークを確立することが今後の重要な課題である。

対流圏大気化学観測用の航空機の必要性はこれまで何度も指摘されながら、我が国では実現されていない。航空機による観測では衛星観測では不可能な多くの成分を高精度で測定でき、また測定の空間分解能も格段に高い。この点で、航空機観測は衛星観測と相補的である。我が国が地球環境観測に貢献するためには最低限一機の観測用中型航空機を保有することが不可欠である。また航空機観測の実施体制を整備すると同時に、先端計測技術を用いた測定器の開発も重要である。

3-3. 成層圏観測調査

3-3-1. 背景

モントリオール議定書とその改定による国際的なオゾン層保護対策の結果、成層圏塩素濃度は20世紀末にはピークに達しており、今後約半世紀かけて「南極オゾンホール」が始まる前の状態に向けて緩やかに減少すると予想される。他方、地球温暖化等による気候変動は、これまでも成層圏オゾン層に影響を及ぼしてきたと考えられており、今後その影響は増大すると予想される。気候変動は成層圏の気象全般に影響を及ぼすが、そのことによる地球規模のオゾンの輸送の変化、輸送と光化学的なオゾン生成・消滅の間のバランスの変化、成層圏気温の低下による成層圏エアロゾルや極域の成層圏の雲の増加によるオゾン層破壊の強化、成層圏と対流圏の間のオゾンの交換速度の変化等が、オゾンの全量と鉛直分布を大きく変化させる可能性がある。また、オゾン層破壊による下部成層圏オゾン濃度の減少は地球温暖化を和らげる働きをしてきたと考えられるが、今後、オゾン層が回復するならばこの効果は期待できなくなる。オゾン層と気候変動の相互作用はオゾンの鉛

直分布に現れ、かつこれに依存するため、オゾンに対流圏から成層圏にかけて高精度で長期観測することが今後ますます重要になるであろう。オゾン層破壊（及び回復）の原因物質としても、フロン・ハロン等の塩素・臭素化合物のみならず、 NO_x あるいは N_2O 、メタン、水蒸気、エアロゾルや成層圏の雲の重要性が高まってくるであろう。これからの10数年は、高いレベルの塩素濃度が続くために、気候変動や火山噴火等の自然の変動に対して、オゾン層は人類史上最も脆弱な状態が続く。従って、オゾン全量、オゾン鉛直分布に加え、オゾン層に影響を及ぼす要素について、気候変動との関係を考慮しつつ総合的に長期観測することの重要性はますます増大している。オゾン層破壊（回復）を中心に、長期の成層圏観測調査が必要な背景について具体的に述べる。

(1) オゾン層回復の検出は近未来の課題であり皮膚ガンは今後数10年増加

オゾン層の状況と将来シナリオについて、2002年に作成されたWMO/UNEPのオゾン層破壊に関する科学アセスメント報告書(WMO, 2003)に基づいて概説する。

1980年以前(1964-1980年の平均)と最近5年(1997-2001年)の間の大気オゾン全量を比較すると、減少が明らかである。北半球中緯度(北緯35-60度)と南半球中緯度(南緯35-60度)ではそれぞれ3%及び6%の減少であるが、北半球では冬から春にかけてオゾン減少(4%)が夏から秋にかけてのオゾン減少(2%)より大きいものに対して、南半球では年間を通して同程度のオゾン減少(6%)が見られた。一方、熱帯域(北緯25度-南緯25度)では優位なオゾン減少は認められていない。1960年代半ば以降のオゾン全量は、1980年から1990年にかけてほぼ単調に減少した。その後、1992~1993年にはオゾン全量観測が始まって以降最小のオゾン全量(1980年以前より約5%減少)が記録された。これは、1991年6月に噴火したピナトゥポ火山の影響であったと考えられている。最小値を記録した後、オゾン全量は1999年頃まで一旦増加に転じたが、再び減少傾向を示し、1997~2001年の平均値は1980年以前に比べて約4%の減少となった。

オゾン層破壊物質の放出量からの予測によると、成層圏塩素濃度(臭素も塩素濃度換算されて含む)は1997年頃にピークになるので、成層圏オゾンの減少がフロン等の人為起源ハロゲン化合物のみによるならば、1997年頃にオゾンは最小値になったはずである。実際には、ピナツポ火山噴火起源の成層圏エアロゾルの影響で1993年頃に最小になって回復に向かった後、1999年以降再び減少した。この推計では、季節変化、太陽活動、QBOといった自然要因によるほぼ周期的なオゾン変動は除去されているので、火山活動の他にも未知の変動要因があることが示された。南北半球によるオゾン減少の程度の違いの原因も説明は容易ではない。従って、成層圏塩素濃度とオゾン全量がどの程度良い逆相関を描くか、有害紫外線とオゾン全量がどの程度良い正の相関を持つか、を引き続き監視し続け

る必要がある。オゾン全量変化から推測された皮膚ガン発生率がピークを示す時期が2060年付近となるとの予測は衝撃的であるが、紫外線の影響が人の一生に亘って蓄積することを考慮すれば理解できる。オゾン破壊のピークの時期が皮膚ガン発生率の最大増加の時期にほぼ対応し、その後も当面皮膚ガンが蓄積的に増加して行くと考えられる。現在はオゾン層破壊のピーク付近であるのに、オゾン層破壊起源の皮膚ガンがそれ程騒がれていないが、そのことで安心することはできない。

(2) 上部成層圏は「オゾン層の回復」の検出に有効

「オゾン層の回復」の検出が最も容易なのは上部成層圏においてである。上部成層圏のオゾン破壊の反応は、気相の塩素、一酸化塩素、酸素の分子やラジカル、原子のみが関わる気相触媒反応であって比較的単純である。このサイクルは無限に回るのではなく、塩素や一酸化塩素はメタンや二酸化窒素との反応などによってHClやClONO₂のような塩素を貯留する分子（貯留物質）に取り込まれて活性を失う。

Newchurch et al. (2003)は上部成層圏に注目し、ミッション寿命をはるかに越えて観測を継続している衛星サンサSAGE- とHALOEのデータから、1997年以前にはHClが直線的に増加し、オゾンが直線的に減少してきたが、1997年以降はその増加（減少）速度が減少し始めたことを発表した。下部成層圏から上部成層圏に空気が移動するのに時間がかかるので、オゾン破壊のピークを確認するには至っていないが、オゾン濃度と塩素の貯留物質であるHCl濃度との逆相関が明確であり、上部成層圏が「オゾン層の回復」の検出に適した高度であることを示している。ClOとHClの両方が観測されればより確実な検出が可能である。

(3) 南極オゾンホールと北極域オゾン破壊は気候変動に敏感

南極オゾンホールは、南半球の春に、南極大陸の2倍程の領域でオゾン全量が極端に少なくなる現象である。1979年以降2002年までの南極オゾンホールの面積と最低オゾン全量をみると、最低オゾン全量は1995年ごろから一定で1980年のおよそ半分の量である。ところが、オゾンホールの面積は1995年以降も増加を続け、2000年に最大、2001年、2002年に2年続く減少を示したが、これがピークに到達したことを示すのか、今後再び緩やかに増加してゆくのかは、明らかでない。オゾンホール中でのオゾン破壊のメカニズムでは、成層圏にできる雲、すなわち極域成層圏雲（Polar Stratospheric Clouds; PSC）の関与する不均一反応が重要な役割を果たしている。従って、成層圏の塩素濃度がピークに近い濃度で高止まりしている状況では、PSCが出来る気温である約-78（195K）以下の領域の面積が増えればオゾンホールの面積は拡大する。他方、下部成層圏では「壊されるべきオゾンはもはや存在しない」状況なので、最低オゾン全量は大きくは下がりにくい。

北極でも南極ほどではないが、春に極域でオゾンが減少してきた。特に1990年代に顕著であった。北極の場合には、PSCができる気温が広範囲に広がるか否かがその年によって大きく違う。もともと、下部成層圏の気温がPSCのできる閾値に近く、年によって-78以下の領域が大きく変化する。このことは、気候変動が将来の北極域春季オゾン破壊に大きな影響を及ぼす可能性のあることを示唆する。

(4) 成層圏の水蒸気の増加やN₂Oの増加はオゾン層破壊を進行させる可能性

気球観測のデータから、下部成層圏の水蒸気濃度は過去45年の間、年率約1%で増加してきたとされている（Kley et al., 2001）。一方、衛星センサHALOEによる最近のデータから、成層圏における水蒸気の増加は気球観測による結果ほど大きくないと報告が発表されており、水蒸気に関する独立した観測を充実させることの重要性が再認識された。もし水蒸気が増加すれば、HO_xラジカルや極域におけるPSCが増加し、オゾン層の破壊が進行する。また、成層圏のNO_xを増加させ、オゾン層破壊を進行させるN₂Oは年率0.3%程度の割合で増加しており、2100年頃にはオゾン層破壊の主要な物質になるとの予測もある。このように、フロン、ハロン等のハロゲン化物以外の大気組成変化も成層圏オゾン層に影響を及ぼす可能性がある。

3-3-2. 観測のニーズとの現状及びその課題 [ニーズ]

上記「背景」を踏まえ、観測のニーズを観測項目、観測地域、観測頻度、観測期間の点から整理する。

(1) 観測項目

オゾン全量

オゾン鉛直分布

オゾン層破壊に関連する物質の全量あるいは鉛直分布（ClO, HCl, ClONO₂, NO_x, HO_x, HNO₃, BrO, メタン, 硫酸エアロゾル, PSC等）

成層圏及び上部対流圏気温鉛直分布

成層圏及び上部対流圏水蒸気鉛直分布

オゾン層破壊原因物質の対流圏濃度（CFC, HCFC, ハロン, 臭化メチル, メチルクロロホルム, 四塩化炭素, 塩化メチル, N₂O等）

陸上紫外線スペクトルまたはUV-B量

(2) 観測地域

北極域、北半球中緯度域、熱帯域、南半球中緯度域、南極域

経度方向に3~4カ所；プラネタリー波、熱帯の東西方向の循環等を考慮）

地形的に成層圏に影響を直接及ぼす可能性のある地域（チベット高原、スカンジナビア半島、ロッキー山脈）

(3) 観測頻度・観測期間

冬は1~3日に一度、夏は1~10日に1回の頻度（高低気圧とプラネタリー波の活動周期

を考慮)

少なくとも2太陽周期(22年)(線形トレンド検出には11年以上、「回復」検出には22年以上が必要)

[現状及びその課題]

上記観測項目は主に、下記の国際的ネットワークあるいは人工衛星によって観測されている。

(1)世界気象機関(WMO)の全球オゾン観測組織(GO₃OS)

ドブソン分光光度計、ブリューワー分光光度計、フィルター分光光度計(ロシア)によるオゾン全量観測、オゾンゾンデによるオゾン鉛直分布観測、ブリューワー分光光度計による紫外線分光スペクトルが測定されている。オゾンゾンデ全量観測は229地点、オゾンゾンデ観測は63地点である。どの項目も、赤道域が空白に近く、東南アジア、アフリカ、南アメリカの観測が手薄である。オゾンゾンデについては、広大なシベリアで研究観測を除くと空白になっている。主要な観測地点(主として北半球中緯度域)ではニーズに応じた観測頻度と観測期間で観測が行われている。

(2)成層圏変化検出ネットワーク(NDSC)

NDSCとはNetwork for the Detection of Stratospheric Change(成層圏変化検出ネットワーク)の略であり、レーザーレーダー(ライダー)、マイクロ波(ミリ波)放射計、フーリエ変換赤外分光計(FTIR)、可視/紫外分光計を中心とする、地上からの最新の遠隔計測技術やオゾンゾンデ、地上紫外線分光スペクトル観測技術を用いて、高精度(高精度)の観測、多様な気体成分やパラメータ(気温等)を観測することによって成層圏の変動をその原因と共に検出しようとする国際ネットワークである。約5年の準備期間を経て1991年に発足した。80近いステーションがあるが、すべてのNDSC測器を備えているステーションは少ない。北極域、欧州アルプス域、ハワイ、ニュージーランドローダー、南極域では、それぞれの地域あるいはステーションで全測器を揃える努力がなされている。日本からも、北極域やニュージーランドの観測所等にエアロゾルライダーを展開してきた。その他、米国のテーブルマウンテン、日本のつくば、陸別、母子里が、地理的にも、測器の整備状況が良いことから重要である。

NDSCの主要ステーションは、ほぼすべての項目を観測する地上ステーションとして画期的である。これは研究者が研究予算を獲得しつつ、観測、データ解析、データ質の評価まで行っていることから可能になっている。発足後10年余りであるため、オゾン層の回復に関する知見をデータから直接に得るにはあと数年かかると思われる。短期的には、衛星観測の検証を行うのに最も適したネットワークとして、各国の成層圏及び対流圏大気化学衛星センサチーム

からの検証の要請が相次いでいる。問題は予算を継続して確保できない主要なステーションが出てきていることである。観測地域の問題としては、東南アジア、南米、アフリカ、特に赤道付近が空白地域になっていることである。

(3)衛星観測

オゾン全量については、Total Ozone Mapping Spectrometer(TOMS)は、Nimbus-7に搭載されたものがミッション寿命を超えて1978年11月から1993年4月まで観測を行い、その後もMeteor、ADEOS、Earth Probeに引き継がれ現在に至っており、22年以上のデータを有する唯一の衛星センサである。オゾン鉛直分布については、Stratospheric Aerosol and Gas Experiment(SAGE)及びSAGE-IIが1984年から観測を続けており、また、HCl、メタン、水蒸気についてはHalogen Occultation Experiment(HALOE)が1991年から観測を続けているが、両センサともミッション寿命を超えて運用されている。当面、欧州、米国等が大気化学衛星センサを打ち上げるが、通常、衛星センサは10年スケールのミッション寿命を持っていないことが問題である。

(4)我が国の貢献と課題

我が国のWMOへの貢献は気象庁によって長期にわたってなされており、オゾン層観測の基盤を作るものとして高く評価されるべきものであり、今後の確実な継続と拡充が望まれる。

我が国のNDSCへの貢献は、国立環境研究所が1988年以来オゾンレーザーレーダによるオゾン鉛直分布の観測を続けている他、名古屋大学太陽地球環境研究所が母子里、陸別でFTIRや可視分光計による観測を行う等の国内の観測、更に気象研究所や通信総合研究所による海外の主要な観測所への貢献等、1990年代後半までは非常にアクティブであった。しかし、近年の成層圏オゾン層研究への予算の縮小から全体として貢献が縮小傾向にある。

南極域では、国立極地研究所を中心として1958年から一貫して行なわれている、昭和基地における成層圏観測が重要であり、日本の南極越冬隊員がオゾンホール発見に大きな役割を果たす観測を行った。このように昭和基地は、南極におけるオゾン、エアロゾル等を中心とする成層圏観測の重要な拠点としての役割を果たしている。

また、北極域については、日本からも国際協力による、国立極地研究所等のスバル諸島ニオルセンにおけるPSC観測、名古屋大学や東北大学、情報通信研究機構等によるアラスカにおけるエアロゾルや成層圏微量成分の観測、国立環境研究所等によって1995年以来5年以上続けられた欧州の北極域オゾン集中観測への参加やロシアとの共同研究等、多くの観測の実績がある。ILAS、ILAS-IIプロジェクトによる研究成果の蓄積と研究者ネットワークがあり、ロシアの航空機や小型水蒸気ゾンデ等の活用も可能な状況にある。

また、1998年以来ドイツと日本の研究者が中心となって行っている北極域での航空機観測には多くのヨーロッパ諸国の研究者も参加している。このような財産を長期の北極域成層圏観測に組み入れることは、効率的な監視体制の構築に資する道となる。

衛星観測については、わが国では、ADEOS（和名「みどり」）に環境省のセンサILASが搭載され、約8ヶ月の観測期間に、北極域のオゾンホール型のオゾン破壊速度、オゾン破壊と極域成層圏雲や窒素酸化物の関係等について総合的なデータを取得し、海外を含む多くの研究者による解析のために提供され、重要な科学的知見の得られたことが特筆される。ADEOS-II（和名「みどり2号」）に搭載されたセンサILAS-IIは、7ヶ月の観測期間に南極オゾンホールについて多くの情報を得ている。ILAS、ILAS-IIは、オゾン、メタン、 N_2O 、水蒸気、 NO_2 、硝酸、エアロゾル、極域成層圏雲等の鉛直分布を同時に高い精度で測定することが可能であり、成層圏の観測ニーズの多くを満たすものであった。但し、正常に運用されたとしても3～5年のミッション寿命であり、長期観測のためには同様なセンサによる観測を今後も行う必要がある。ILAS、ILAS-IIによる成層圏大気成分の観測が終了した現在、宇宙ステーションからのサブミリ波大気成分観測（SMILES）を成功させることが重要である。同時に、現在のところSMILES後の成層圏化学ミッション計画のないことは大きな問題である。今後の化学ミッションについては、成層圏だけではなく、対流圏観測にも貢献できることが必要である。

赤道地帯、大型の山岳や高原地帯では、それぞれの地域での地形性の風系、放射状態、物質の生成・消滅などを視野に入れた成層圏観測が行われている。日本の地理的な環境は、これらの研究を主導的に行うことを、ややもすると困難にしがちではあるが、水準の比較的高い観測技術を通してこれらの観測に参加し成果を上げてきている。

観測機器開発においては、ミリ波・サブミリ波による観測の技術において日本は欧米と対等に競う水準に達してきており、今後の日本の貢献として重要な役割を果たすと考えられる。これには、日本の半導体製造技術、電波天文学の技術を基盤として、SMILESプロジェクトや、名古屋大学、国立環境研究所等による地上からのオゾン、ClO、水蒸気同位体等の観測研究プロジェクトが10年以上継続されたことが観測技術の進展を促した。1980年代から90年代前半にかけて、わが国はライダーの開発や利用において、世界的にも中心の一つであった。また、名古屋大学を中心とする、気球や航空機搭載用のエアロゾルセンサや NO_x センサ等の開発も高く評価されてきた。最近、成層圏観測におけるこの分野の機器開発が低調になってきているが、気球観測用の水蒸気センサの開発が進められている。

3-3-3. 観測成果・データの集積と活用の現状

WMOの観測結果はWorld Ozone and Ultraviolet Data Center (WOUDC) に集積されている。NDSCデータはNDSCのホストコンピュータ、衛星観測データは、各衛星観測プロジェクトのデータサーバーに集積される。成果としては、トレンド解析を含むオゾンの長期的変動の解析等があげられる。国内では、気象庁「オゾン層観測報告」と環境省「オゾン層等の監視結果に関する年次報告書」の中で毎年用いられている。国際的には、1999年の「オゾントレンドパネル」、1989年、1991年、1994年、1998年、2002年の「オゾン層破壊に関する科学パネル報告書」で用いられ、モンテリオール議定書の締約国会合における規制の見直しの科学的基盤となった。

また、ILAS等の成果は国立環境研究所のILAS、ILAS-II研究グループのデータベースに蓄積されている。欧州やロシアとの共同研究の成果は論文の他、ノルウェーのデータベースに蓄積されているが、更なるデータベース化が必要である。

3-3-4. 今後の取り組みが必要な観測項目とそのニーズ

成層圏を対象とする、今後の長期観測調査では、成層圏塩素濃度がピークから徐々に低下する中で、気候変動の進行、火山噴火起源エアロゾルや太陽活動等の自然変動、水蒸気、メタン、 N_2O 等のフロン以外のオゾン層破壊（回復）物質などの影響を総合的に把握する必要がある。また、フロン以外に今後オゾン層の脅威になる物質があるならば早期に検出し、対策を行う必要がある。この観点から、以下の観測項目を選んだ。

(1) オゾン層の回復の検出に関する観測

オゾン全量、オゾン鉛直分布、ClO、HCl、ClONO₂等

上部成層圏、南極等、オゾン層の回復の検出が容易な領域における観測

(2) 水蒸気増加に関する観測

熱帯上部対流圏・下部成層圏水蒸気気球観測

中緯緯度水蒸気気球観測あるいは遠隔計測による観測

極域下部成層圏における水蒸気濃度とPSCの気球及び遠隔計測

(3) 気候変動に関する観測

上部成層圏、中間圏における気温の観測

(4) 将来のオゾン層破壊に関連する観測

N_2O の対流圏濃度の観測

成層圏 NO_x 濃度の観測

3-3-5. 今後10年間での取り組みの重点項目

今後10年間で取り組むべき重点項目は、ニーズと必要な観測項目という観点と、我が国が基盤を有する強い分野という観点、地域的な観点を総合的に考慮して絞り込む必要がある。その意味では、ミミリ波・サブミリ波、レーザーレーダー、FTIR

を備え、気球観測によって補完された NDSC タイプの地上観測(特に高高度ステーションや極域、熱帯域、アジア域)、オゾン、NO₂等をマッピングするタイプの衛星センサと、ILAS 型の太陽掩蔽方式のセンサあるいはミリ波・サブミリ波等を中心とした高度分解能の良いセンサを組合せた成層圏(および対流圏)化学衛星ミッション、が最重点項目である。同時に、

長期観測データの保存、観測対象の変動や長期変化の解析、化学輸送モデルを用いた解析、データ活用の支援を行う体制を、競争的資金による研究プロジェクトに依存しない形で確立すること、

3-4. 海洋汚染(油類及びプラスチック系浮遊物等)観測調査

3-4-1. 背景

油類や有害化学物質などによる汚染は、漁業資源の減少や水質などの環境の悪化を引き起こすばかりでなく、人間の健康の阻害や海洋生態系の破壊などの悪影響を及ぼすことが危惧されている。海洋環境が汚染による変化を受けると、その回復は容易ではなく、また長時間を要する。今後、アジアをはじめとする途上国での経済的発展や船舶による海上輸送の増大などが予想されることから、さらなる海洋汚染の進行が懸念される。したがって、海洋汚染の長期的なモニタリング体制の構築を図り、汚染の進行の実態を早急に把握して適切な対策に資する必要がある。

本セクションでは、現業官庁による長期モニタリングの実施状況と今後取り組むべき課題について整理する。

3-4-2. 観測のニーズと現状および課題

[現業官庁におけるモニタリングの実施状況]

海洋環境に関する社会の関心の高まりや国内外の要請に応じて、海洋汚染の防止や海洋環境の保全等に資するために、わが国では気象庁、海上保安庁、環境省、水産庁等が中心になって海洋の各種モニタリングを実施してきている。主要な海洋環境モニタリングの概要、調査海域等を表1に示す。

気象庁及び海上保安庁は、「海洋汚染防止法」第46条に基づいて、気象業務または水路業務に関連する海洋の汚染の防止及び海洋環境の保全並びに海上災害の防止のための科学的調査を実施している。気象庁は、1972年から海洋バックランド汚染観測を開始し、北西太平洋及び日本周辺海域の観測点における海水中の重金属(カドミウム、水銀)及び油汚染(油分、タールボール、プラスチック浮遊物等)の観測を海洋気象観測船により定期的に実施している。

海上保安庁では、1972年から日本周辺海域、閉

鎖性の高い主要湾域や海洋汚染防止法で定められた廃棄物排出海域において定期的に海水や海底堆積物を採取し、油分、ポリ塩化ビフェニール(PCB)、重金属等の調査を行っている。主要湾の海底堆積物については、2001年から有機スズ化合物等の新たな調査項目を追加している。また、大規模油流出事故が発生した際には緊急調査を実施することとしている。

環境省では、沿岸域においては「水質汚濁防止法」及び「瀬戸内海環境保全特別措置法」等に基づいて、1971年から公共用水域水質測定調査、1972年から広域総合水質調査、1974年から化学物質に関する環境調査を実施している。さらに日本周辺域のより沖合の海域における海洋汚染の実態を総合的に把握するため、1975年から1994年まで日本近海海洋汚染実態調査(以下、日本近海調査)として水質、底質の有害化学物質、油類、プラスチック等の調査を実施した。1995~1997年には、海洋環境保全調査として継続した。1998年からは、排他的経済水域内の生物・生態系を含めた海洋環境の年代的な変化を監視するための海洋環境モニタリング調査を実施している。

水産庁では、海洋環境を把握し水産業を振興するために、地方公共団体が実施する事業に対する補助金を含めて、赤潮による被害の防止のための調査・技術開発、藻場・干潟の実態調査、海洋廃棄物、流出漁具、流出油が海洋生物等に及ぼす影響調査などを実施してきた。

[現業官庁における海洋汚染モニタリングの課題]

上述のように、海洋汚染に関する各種のモニタリングが現業官庁により様々な観点から実施されてきているところであるが、モニタリングの調査項目、海域、期間等について十分とはいえない。

汚染源の多くは陸上・沿岸域にあるが、海水の流動によって拡散するだけでなく、船舶の航行に伴って外洋域に排出する。重金属や有機塩素化合物などの一部の物質は大気を経由して海洋の広範囲に運ばれる。海洋に流入した有害化学物質や油類などの汚染物質は、海流等の水の動きにより、また沈降粒子や海洋生物の食物連鎖を通じて海洋全体、底泥や生態系にまで影響が及ぶ。このため、外洋を含む広域にわたる調査が必要となるが、多くの調査は沿岸を中心に行われてきており、排他的経済水域の広域及び水域外の調査は少なく、また鉛直方向の分布はあまり把握されていない。

さらに、底質及び生物・生態系に関する観測は不足しており、外洋域においては調査がほとんどなされていない状況にある。近年、特に有機塩素化合物、有機スズ化合物、有機リン系化合物、多環芳香族炭化水素等の有害化学物質による汚染の深刻化が認識されてきているが、その海洋におけるモニタリングの実績はごく短期間に過ぎず、かつ調査されている海域も非常に限られている。

油類やプラスチック等浮遊物質による汚染については、外洋域まで調査されているものの、目視で

は捉えられない小さな浮遊物質の量や詳細な種類、油の成分等に関する情報は希薄である。

3-4-3. 観測成果・データの集積と活用の現状

海洋汚染、海洋環境の調査に関しては、関係省庁で構成される連絡会議等において、各省庁が実施する調査の実施方法、すなわち調査海域、調査地点、調査項目等について相互調整を図っているほか、調査結果等について必要な情報及び意見の交換も行っている。また、日本海洋データセンター（JODC）では、表1に示された調査データをはじめ、各省庁の調査データを収集・管理し、オンラインでのデータ提供を行っている。

国際的枠組みとしては、IOC（ユネスコ政府間海洋学委員会）の海洋科学プログラムのひとつであるGIPME（海洋環境汚染全世界的調査）計画においてMARPOLMoN（海洋汚染監視計画）が進められ、取得された観測データは3カ所のRNODC（責任国立海洋データセンター；JODC、米国NODC、ロシアNODC）に集積されてきたが、2003年に開催されたIOC/IODE（国際海洋データ・情報交換）会議において、米国とロシアの両国がRNODCの活動を停止する方向であるため、今後のデータ管理はJODCのみにおいて実施される見通しとなっている。なお、2001年のIOC総会で、海洋科学プログラムの再構築が提案されてGIPME計画は新しい学際的な「Ocean Ecosystems and Marine Environmental Protection（海洋生態系及び海洋環境保全）」に統合されている。

JODCでは、MARPOLMoNデータとして、国内関係機関、米国NODC、アジア各国などによる1973年からの全世界の海水油分、浮遊タール、漂着タール、海面油膜のデータを集積しているが、油に関する情報は航行船舶から寄せられるため、主要航路以外のデータはきわめて少ない。

3-4-4. 今後の取り組みが必要な観測項目とそのニーズ

(1) 有害化学物質による汚染

PCBやダイオキシンなどの有害化学物質は、環境中で分解しにくく、生物に蓄積されやすく、毒性が高く、かつ長距離輸送される可能性が高いといった特性を有する。そのため、海洋の広域に拡がるとともに、特に栄養段階高次の海洋生物に高濃度に濃縮されて、長期的に重大な悪影響を及ぼすことが懸念されている。有害化学物質の汚染状況の調査は少なく、その海洋環境における知見は限られていることから、これらの化学物質の広域における汚染状況を把握する調査を定期的実施して情報を蓄積する必要がある。

(2) 油類による汚染

油汚染の発生件数が減少し、海水中の油分や浮遊タールボールなどでみた定常的な汚染の度合いは近年低下してきているが、一方で原油利用の拡大、海

上輸送の増大や船舶の大型化などの状況から、大規模な油流出の可能性は依然としてなくなっていない。過去の事例から、流出した油が海洋環境や生態系に及ぼす影響が甚大であり、かつ長期化することがわかってきた。

油流出などの事故が起こった際にその汚染状況を的確に把握して影響評価を速やかに行うためには、平常時の状況を把握しておくことが重要である。油汚染に関連する項目や汚染の影響を受けやすい動物・植物プランクトン、沿岸生態系などの観測を定期的・継続的に行って海洋汚染のバックグラウンドレベルの情報を集積し、海洋環境の監視にあたるとともに事故発生時に速やかな情報提供ができる体制を維持する必要がある。

(3) プラスチック等の浮遊物質による汚染

北西太平洋で観測された浮遊物質の多くがプラスチック類であり、その数は近年漸減傾向にあるものの、分布は中緯度域を中心に広範に及ぶ。また、浮遊物質の分布は、時空間的変動が大きく、広域の分布やその経時的な変動はまだ十分に把握されていない。

プラスチック類は耐久性が高いため、海洋環境では分解されることなく半永久的に存在し続け、魚類や海鳥類・ウミガメなど高次の栄養段階にある生物の誤飲や絡まりによる外傷等を引き起こすことから、生態系への影響が指摘されている。広域におけるプラスチック等による汚染の実態を定期的かつ長期的に監視して、汚染低減の対策に資する必要がある。

(4) 有機汚濁及び富栄養化

CODの発生負荷量が減少しているにもかかわらず、沿岸域のCODや栄養塩濃度はあまり低下しておらず、1990年代後半以降横ばい状態となっている。また、近年には赤潮の発生件数の減少も留まる傾向にあって、栄養塩類負荷量の低減が十分でないこととの関連が指摘されている。特に、閉鎖性の強い内湾における近年の干潟と藻場の消失は、生物多様性と生物生産性に直接影響を与えるほか、栄養塩類や有機物を取り除く浄化能力を損なうことによって富栄養化問題を悪化させていると考えられている。

今後の取り組みが期待される、底生生物の生息環境の復元・再生などによる水質・底質の改善施策に資するために、依然として沿岸域環境の監視を要する。

(5) 海洋生物によって生成される有機化合物

DMS（硫化ジメチル）は、海藻や植物プランクトンによって生成されるDMS前駆体がバクテリアによって変換されて海水中に放出される。海洋から放出されるDMSは、大気中の硫酸化物の主要な自然起源として重要であり、またエアロゾル粒子形成の核となるために気候に大きく影響することから注目されている。DMSの海域的、季節的分布の概要やプラ

ンクトン種ごとの生成の特徴などは明らかになってきているが、その経年変動などはまだ良くわかっていない。

気候問題に寄与するとともに、クロロフィル等の観測結果と併せて海域のプランクトン種組成やその活動状況を把握する指数として海水中、洋上大気中の DMS を海洋の広域で継続して観測することが有効であると考えられる。

(6) 海洋環境の監視のための基礎データの取得

海洋表層の物理的構造は、大気循環の自然変動や地球温暖化などの影響により様々な時間スケールの変動を持ち、相互にフィードバックしていることがわかってきた。これに伴って、海洋表層の物質循環や海洋生物の活動も変動することが知られている。こうした変動と海洋汚染の影響による変化を識別するために汚染物質観測と併せて、海洋の状態を把握するための基本的要素の観測を実施することが必要である。さらに、海洋環境の長期変動解明のための継続観測と連携して、特定の海域における目的を絞った短期集中観測を実施し、海洋汚染のプロセス解明を併せて行なうことも必要である。

観測項目としては、海洋構造を把握するための水温、塩分や、化学・生物学的状況を把握するための栄養塩類、溶存酸素、クロロフィル、動・植物プランクトン類などが挙げられる。こうした海洋環境の変動は温室効果気体や炭素循環とも深く関連することから、これらの観測と併せて実施することが必要である。

3-4-4. 今後 10 年間での取り組みの重点項目

(1) 数十年間にわたり継続する観測の開始

海洋汚染の現状把握が外洋域など広い海域で十分でないことから、まずは系統的な調査の実施による総合的な理解が必要である。特に、最近その影響の重大性が注目されている難分解性有機汚染物質などについて、水質・底質・生物における分布を把握することが重要である。今後も海洋汚染の拡大が見込まれ、またその海洋環境への影響が全球規模でかつ長期間にわたることが予想されることから、汚染の実態を定期的に効率的に把握する長期的なモニタリング体制の構築を図る必要がある。

広域にわたる総合的な調査を数年に 1 度実施し、各汚染物質による汚染の進行の状況を把握して、特に汚染の影響が重大である物質を重点項目や汚染指標物質として選び出し、その上でさらに観測・監視を数十年間継続する必要がある。モニタリングの長期継続を可能にするためにも、重点的に実施する観測項目や海域を段階的に絞るといった戦略をもって取り組むことが重要である。

また、長期モニタリングの一環として、生物・環境試料を計画的に長期（最低 10～20 年）保存する体制を整えることが望まれる。将来における新たな汚染物質への対応や新たな分析法による統一的な分析

に供することにより、過去にさかのぼった環境分析が可能となり、早期の原因究明や施策に役立てることができると考えられる。

(2) 海洋生物・生態系の変化の把握と監視のための指標の設定

海洋生態系は、地球上の物質循環系において重要な役割を担っている一方、海洋汚染の影響を受けやすい。特に、難分解性有機汚染物質は生物体内に高濃度に蓄積されやすいので、その汚染の進行を検出するには生物調査が海水や堆積物よりも適すると期待される。生態系に対する影響を包括的に把握するために、生態系ピラミッドの各段階における生物中の汚染物質濃度のモニタリングと共に、個体数・種類数などの生物群集構造に関する調査を実施する必要がある。また、生物群集の調査では、汚染の影響を把握するのに適した指標を見出すことが重要である。

(3) 漂流ゴミ（特にプラスチック系の浮遊物）等の観測

プラスチック等の浮遊物質は、大きさから大型・小型に分けて 2 通りの方法で観測を実施する必要がある。目視により捕えられる比較的大型の浮遊物質については、観測船による観測だけでは頻度が足りないことから、練習船・商船などによる篤志観測を依頼して展開を図る。船橋で操船にあたる航海士に日中目視観測により確認された浮遊物質の種類、形状、数などについて記録してもらい、航海後にインターネット等を利用してデータを回収して解析を行う方法もある。

目視では捕捉できない小さなあるいは微小の浮遊物質（レジン・ペレットなど）については、まだ観測が少なく情報が限られていることから、現業官庁などの観測船上からネットを用いた表層曳きにより定期的に採取・分析して、情報の蓄積を図る。

(4) アジア諸国等との国際協力

東・東南アジア各国は、人口密度が高く、かつ今後の高度経済成長が見込まれることから、将来周辺の海洋環境への負荷が高まる可能性が大きい。特に閉鎖性の強い日本海、東シナ海では、周辺諸国からの汚染の影響が大きく現れると考えられる。すでに、東南アジアの沿岸域では DDT などの農薬や PCB などの有害化学物質の汚染が広がっていることが報告されている。

日本周辺海域における海洋環境保全の実効性を上げるためには、周辺諸国と協調した取り組みが重要となる。これまでに我が国が蓄積してきた海洋環境保全に関する技術や知見を積極的に関連諸国に移転していくなど、日本が中心となって海洋環境モニタリングの実施や総合的な海洋環境管理を各国と連携・協力して行っていく必要がある。特に、APEC や NOWPAP などの枠組みを活用して関係国との協力体制

を強化し、モニタリング結果に基づいた評価技術・予測モデルの開発を含む海洋管理のための計画等、海洋環境保全を推進する仕組みを構築することが重要である。

太平洋側においては、陸上活動や航行船舶による日本沿岸から沖合への汚染だけでなく、大気を経由した有害化学物質の長距離輸送による汚染も視野に入れて、広域にわたる北太平洋全域の定期的なモニタリングを環太平洋諸国の国際連携を通じて実施して行く必要がある。

(5)情報共有ネットワークの構築

海洋汚染モニタリングにより取得したデータを効果的・効率的に活用して海洋環境保全の施策等に資するためには、そのデータの所在や観測等に関する情報を共有する仕組みの整備が重要である。また、海洋環境の情報については、我が国の領海や排他的経済水域に係る情報のみならず、我が国の海域に重大な環境影響を与える可能性のある周辺諸国の情報

も集積することが必要である。

国内でも国際的にも、海洋汚染のデータが利用しやすい形で保管・提供されているとはいえない。特に、化学・生物データに関しては、データ管理の体制や手法が必ずしも確立されていないのが現状である。データセットが一元管理できればユーザーにとっては利用しやすいが諸般の事情により難しい面もあるので、関係機関の連携のもとに分割管理をしながら、汚染観測データのインベントリやメタデータについての情報を web 上で一括提供するサイトの設置・運用が有効である。

情報共有ネットワークの構築にあたっては、IODE（国際海洋データ・情報交換）、NEAR-GOOS（北東アジア地域海洋観測システム）などの既存の海洋環境データ情報交換システムを活用するとともに、データベース及び情報管理システムの設立を進めている UNEP の地域海計画 NOWPAP との情報交換・協力を図ることが有効である。

表 2-1 海洋環境モニタリングの概要

調査名称	所轄官庁	関連する法律・規制	目的	調査海域	調査期間	観測回数	備考
海洋バックグラウンド汚染観測	気象庁	海洋汚染防止法（第 46 条）	海洋の汚染防止及び海洋環境の保全	日本周辺海域 北西太平洋	1972 年～	年 2～4 回	外洋域
海洋汚染調査	海上保安庁	海洋汚染防止法（第 46 条）	海洋の汚染防止及び海洋環境の保全	日本周辺海域 主要湾	1972 年～	年 1～2 回	廃棄物排出海域を含む
日本近海海洋汚染実態調査	環境省 (旧環境庁)		周辺海域の汚染実態の把握	日本周辺海域 約 500km 内に 6 測線、内湾に 3 測線	1975～ 1994 年	毎年 2 回 (1981 年からは年 1 回)	廃棄物排出海域を含む
海洋環境モニタリング調査	環境省	環境基本法	排他的経済水域内の海洋環境の監視	日本周辺海域 約 500km 内で、 内湾から沖合 に向かう 7 測線	1998 年～	毎年 2～4 測線程度	廃棄物排出海域 生物・生態系、有害化学物質等の調査充実
公共用水域水質測定調査	環境省	水質汚濁防止法（第 15 条）	公共用水域における水質汚濁の状況監視	海岸線に 約 3200 点	1971 年～	月 1 回～年 1 回	ダイオキシン類は 2000 年～
広域総合水質調査	環境省	水質汚濁防止法 瀬戸内海環境保全特別措置法等	閉鎖性海域の富栄養化防止、水質環境基準の確保	ごく沿岸（内湾・内海等）	1972 年～	年 4～12 回	栄養塩類、プランクトンなど

化学物質に関する環境調査	環境省	化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律	有害化学物質による人の健康への被害の予防	ごく沿岸(港湾・河口域)	1974年～	年1回	有害化学物質多数
海洋廃棄物生物影響調査	水産庁		海洋廃棄物, 流出漁具, 流出油等が海洋生物等に及ぼす影響の把握等	北太平洋, 日本海等	2001～2003年		

3-5. 海洋汚染(難分解性有機汚染物質等)観測調査

3-5-1. 背景

人間活動により陸域で使用された様々な化学物質は、様々な輸送過程、変質過程を経て最終的に海洋に到達し、さらに海洋環境内における種々の過程を経て、最終的に広く海洋に拡散あるいは蓄積されていく。しかしながら、海洋におけるこれらの人為起源物質の動態はほとんど解明されていない。これは、海洋内素過程の多くが未解明であること、時間的なスケールも表層の極めて短時間な諸反応から、有光層、中層、深層とそれぞれ時間スケールが異なっているなど、観測に大きな困難さを伴うことによる。しかし、地球環境の理解は、海洋の働き、動態の解明無くしてあり得ない。本節では化学物質、特に難分解性有機汚染物質等による海洋汚染を中心に述べる。

3-5-2. 観測のニーズと現状および課題

上述したように、海洋汚染観測は極めて重要にも関わらず、陸域および大気環境観測と比較して、その規模・頻度ともに貧弱である。我が国における、海洋汚染観測は、水質汚濁法による常時観測網(COD, DO, 栄養塩, 金属, 重金属, イオンなど)、環境省が実施する化学物質の観測(農薬, 有機汚染物質など)、海上保安庁が実施する油分(オイルボールなどを含む)等の監視などがあるがどれも沿岸域の極めて限られた範囲と頻度で実施されているにすぎない。

国際的な枠組みであるGOOS, PICES, LOICZなどに関連する観測も研究者が個別に対応しているのが実状で、海洋汚染観測として組織的に実施されている例はほとんど無い。

一方で、各種競争的研究資金を含む研究費による研究課題として各種海洋観測が実施されているが、その予算の特質から、数年の研究期間の離散的なデータとなってしまう例が多い。

広域あるいは地球規模の海洋汚染観測は、文部科学省科研費および環境省地球環境研究総合推進費等により一部実施されているが、規模、期間共に十分ではない。特に、地球規模の海洋汚染観測には中長期モニタリングが不可欠であるが、現状では実施されていない。

3-5-3. 観測成果・データの集積と活用の現状

上記に述べた様に継続的なデータとしては水質汚濁法に基づいた各自治体による観測結果、環境省や海上保安庁などが実施している観測結果が、年報などとして継続的に報告されている。しかし、電子データとして纏められていない場合が多い、クリアリングハウスがないなど、集積化およびデータベース化が未整備なため十分に活用されていないのが現状である。特に過去の報告書・データ類の電子化がほとんど実施されていないために、解析のためには再入力が必要があるなどの障害により、極めて貴重なデータが活かされていない。一方、近年のインターネットおよびWeb Siteの急速な普及と展開により、電子化による蓄積と公表の兆しがみえているが、米国のデータベース化および公開手段の整備と比較すると大きく見劣りがする。

3-5-4. 今後の取り組みが必要な観測項目とそのニーズ

海洋観測は他の分野と異なり、観測の拡充に当たっては、まず観測プラットフォームの整備が不可欠である。現在の海洋観測は、主として海洋観測船によって実施されているが、広域さらに全球規模での海洋観測を全て海洋観測船に依存することは不可能である。従って、海洋観測の取り組みに当たってはまず海洋観測プラットフォームの確保と整備が急務である。表2-2に、現在考えられる4種の海洋観測プラットフォーム、すなわち海洋観測船、篤志観測船、係留ブイ、人工衛星の特徴(水平および鉛直空間分解能、水平および鉛直分解能、多様性、即応性への対応および経費)を示した。海洋観測船は多項目を高精度で観測することと、他のプラットフォームでは実現が難しい鉛直方向の観測を実施する。篤志観測船は、その特徴を活かし、ある限定された項目を空間的・時間的に高頻度の観測を実施するとともに、より広範囲な観測の実施を目指す。係留ブイは、他の方法では難しい。ある限定されたポイントにおける連続観測を実施する。人工衛星は、他のいずれの方法でも不可能な広域観測を実施する。以上を有機的に配置することにより、それぞれを補完し、地球規模の海洋動態の把握に資する。

表 2-2 要求される特性への各海洋観測プラットフォームの対応性

	専用観測船	篤志観測船	係留ブイ	衛星観測
空間分解能：水平			×	
空間分解能：鉛直		×		×
時間分解能：ポイント				×
時間分解能：水平			×	
時間分解能：鉛直		×		×
多様性				
即応性			×	
経費				×

次に、海洋汚染（海洋環境）理解のために必要な観測項目であるが、非常に多岐にわたりその全てをここに列挙することは出来ない。図 1 は GOOS のレポートに掲載されたものであるが、その重要性と観測の難易度がわかりやすく示されている。カテゴリ-1 は、環境へのインパクトが大きい観測は比較的容易な、栄養塩、溶存酸素、粒子状物質、植物プランクトン色素、レジン・ペレット/プラスチック、原油などが観測対象物質である。カテゴリ-2 は、環境へのインパクトはそれほど大きくなく、観測の難しさは中高程度のもので、微量金属、人工放射線核種、薬剤が対象である。カテゴリ-3 は、環境へのインパクトが大きく、観測は難しいと考えられる、多環芳香族炭化水素、農薬(除草剤/殺虫剤)、合成有機物、藻類毒物があげられている。カテゴリ-3 にランクさ

れる農薬、合成有機物の内、特に難分解性(残留性)、生物濃縮性、毒性、長距離移動性が高い物質である DDT などが POPs (難分解性有機汚染物質)として定義され、国際条約が締結されており、当面これらの物質とカテゴリ-1 にあげられている物質などを観測のターゲットとすることが国際的な理解を得やすいと考えられる。

これらを考慮し、海洋汚染物質として取り上げられる物質(栄養塩、農薬、合成有機物、金属など)と動植物プランクトンなどの生態系観測項目と、連続観測の可能性、観測の難易度、媒質および要求される観測頻度との関連を表 2-3 に示した。

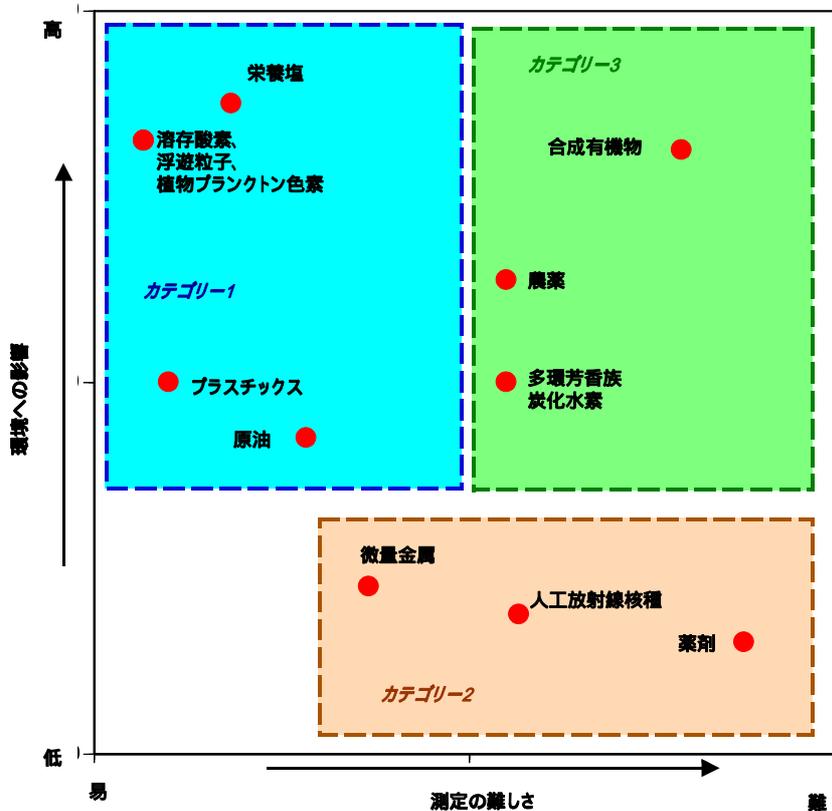


図 2-1 各種汚染物質および分析対象における環境への影響と測定の難しさ (GOOS Prospectus 1998 をもとに作成)

表 2-3 海洋観測項目における要求される観測特性への対応性

	連続観測	観測の難易	媒質	観測頻度
栄養塩	可	中	水	日～週
農薬	バッチ	難	水, 大気, 底質	日～月
化学物質	バッチ	難	水, 大気, 底質	日～月
金属	一部可	中	水, 大気, 底質	日～月
重金属	バッチ	難	水, 大気, 底質	日～月
植物プランクトン	総量：可 種類：バッチ	易 中	水, 底質 水, 底質	時間～日 日～月
動物プランクトン	バッチ	中	水	日～月
バクテリア	バッチ	総量：中 種別：難	水 水	時間～日 日～月
生態系	バッチ	難	水	日～月

3-5-5. 今後 10 年間の取り組みの重点項目

前述したように地球規模の海洋観測においては、その観測プラットフォームの確保が不可欠である。従って、当面海洋観測項目をある程度限定してもまずプラットフォームの整備が必要であり、海洋観測船、篤志観測船、観測ブイ、人工衛星の各特徴を生かした最適な配置を検討することが優先課題である。このために前半数年程度の予備調査により、海洋環境把握のために必要となる重点海域、その中でも特に現在観測データが希薄な海域を洗い出すとともに、当該海域に関する必須観測項目の決定を行う。その上で、後半においては観測プラットフォームの配備とともに、継続した観測を実施した上で、長期広域観測の方針を作成する。

広域海洋観測の推進に当たっては、今ひとつ観測の自動化が求められる。陸域の水圏では、使用可能な種々のセンサ類が開発され、観測頻度および密度の向上が図られているが、海洋環境で使用可能なセンサ類は水温、電導度、pH、D₀ およびクロロフィル量など極めて限られている。また、多くの化学成分や生態系の観測は、採水後バッチ観測に頼る必要がある。その観測頻度および密度の向上を妨げる大きな要因となっている。特に篤志観測船での観測は高いスキルが必要とされる作業は実施困難であるため、観測機材の簡素化と自動化が強く求められる。そこで、海洋環境で使用可能なセンサ類の開発および各種観測項目の自動化は、最重要課題の一つである。現在、健康管理分野におけるセンサの開発には著しいものがあり、これらの技術の応用を検討することも考慮する価値があると考えられる。

人為活動と海洋との接点は、河川および大気経由であり、特に海洋と大気との相互作用は広大であり、それぞれに大きな影響を及ぼしていると考えられるが、その解析は未だ不十分である。かつて、米国が主導して実施された SeaAirExchange プログラムはこの分野で画期的先導的な研究であったが、その後中止されてしまっている。広域地球環境の動態解明には、大気-海洋相互作用の解明は不可欠である。本

相互作用の観測は、今まで主としてその観測の容易さから大気側からの視点が多かったが、今後は海洋側からの視点（汚染物質の保持、海洋生態系との関わりなど）が重要であると考えられる。

外洋域における一次生産における必須元素の一部およびある種の汚染物質は大気経由で海洋に負荷されており、これが外洋域の一次生産量や汚染物質の広域拡散に大いに寄与していると考えられている。一方、海洋生態系は様々な物質を生産しているがその一部はガス状物質として大気へ放出され、大気中の様々な物理化学過程に参与している。こうしたマテリアルフラックスの把握は、双方の環境動態の解明に不可欠であり、その観測手法を含めた対応が求められる。

3-6. 地球環境観測の将来展開に向けての提言

我が国がユーラシア大陸の東側、太平洋の西側に位置しているという地理的環境を考慮し、その条件を活用した地球環境観測の将来展開が必要である。また、21 世紀においてはアジアの大気汚染物質の排出量がヨーロッパ及び北米の排出量を凌駕すると見込まれ、グローバルな大気質変動を把握し、そのトレンドを検出するために、アジアにおける地上及び衛星からの体系的観測システムの構築が求められている。

さらに、周囲を海に囲まれ、海洋から多くの恩恵を受けている我が国は、その海洋環境を健全に維持して行くためにも、率先してアジア沿岸から北太平洋洋上における海洋環境観測を推進して行くことが必要である。また、地球環境の現状と長期変動のトレンドを把握することが地球環境の将来を予測する上で不可欠であり、「長期間継続した地球環境モニタリング」が、今後一層重要となる。ここでは、このような観点に基づき、我が国の地理的環境を活かした今後 10 年間の重点的な観測課題と推進体制について以下に提言する。

(1) 観測体制の確立

アジア大気汚染の総合的監視のために、研究観測

とオペレーショナルな観測とが一体となった対流圏化学種を対象とした地上スーパーサイトの構築，及びアジア・オセアニア域を対象としたアジア大気汚染監視衛星の打ち上げが今後 10 年間の最重点課題である．また、今後成層圏・対流圏複合の大気化学衛星による高い空間分解能を備えた情報への要望が高まるとしても、衛星観測実現に長期間を要する．そこで、衛星観測の実現に備えて、いくつかのキーになる物質をおなじ空間で同時に計測する必要性が高まってくることを踏まえた計画作りを今から開始する必要がある．

総合的な海洋汚染モニタリングのためには、現実的に海洋汚染観測を実施している関係機関等の連携により、海洋観測船、篤志観測船、人工衛星、ブイ等の多様な観測プラットフォームを活用した観測体制、情報共有ネットワークの構築が重要である．観測体制を検討する上で、広大な海洋環境における広範囲な物質の高密度、高頻度の観測体制を直ちに整えることは困難であることから、観測範囲の適切な抽出が緊要である．また、広域海洋への汚染物質の輸送および拡散過程、海洋生態系との相互作用、全球レベルの物質循環の把握には、大気との相互作用の観測を併せて行なうことが不可欠である．

(2) 観測を強化すべき重点領域

アジア地域における既存観測拠点の将来性・重要性評価に基づく、東/東南/南アジア、東シベリア等の観測空白地域での観測拠点の配置計画を検討し、その強化・適正化を図る．併せて、アジアに適したモニタリング手法の開発、観測ガイドライン作成、アジアにおけるキャパシティビルディングの検討が不可欠である．また、南極や北極にわが国は強力な観測拠点を持っており、これらを利用した極域成層圏の観測を強化展開して行く．日本周辺海域の海洋環境と密接に関係する東/東南/南アジア周辺海域の海洋汚染の監視については、日本が中心となって関係諸国と連携・協力して総合的な海洋環境モニタリングの実施に取り組んでいく必要がある．

(3) 業務的な長期モニタリング観測と研究観測の連携による観測研究・情報共有化

地球環境変動の長期トレンド監視のためには、数十年を想定した長期モニタリング観測とプロセス研究を想定した短期間の個別研究観測の両者が必要であり、それぞれの特性を活かした連携と協力が重要である．このためには、地球環境のモニタリング観測と研究観測の関係者が協議し、知見・データの共有による観測システム・内容の改良とデータの相互

活用を図る連携・協力体制と予算システムの確立が不可欠である．たとえば研究観測から業務的な長期モニタリング観測への移行研究、観測プラットフォームの研究機関とモニタリング機関の共管利用などを実施するための予算を設ける．

さらには、定常的な観測システムと研究者コミュニティとの連携強化を図る上で、定常的な観測システムに研究者を受け入れやすい枠組み、定常的な観測システムの評価基準に研究者による成果の活用を加えることなども必要である．

(4) モデル研究と観測研究の連携

地球観測データの共有と活用を考える上で重要な点は、モデル研究と観測研究の連携のもとにモデル研究者の利用を考慮したデータの内容と共有体制を構築することである．その際に、モデル研究と観測研究の両者の相互活用と相互利益の拡大を図ることが重要である．また、国際的な観測・プロジェクトとの連携の方策、国際組織の気候変動/大気成分変動/海洋環境変動の総合的観測とデータの多面的利用戦略についても検討する．

(5) 観測技術の開発と活用

日本の航空機、大気球、衛星等の搭載機器、リモートセンシング技術やそれらを使った研究の質の高さは充分評価されているといえる．大気観測技術の開発を一層強化するとともに、その技術を活かしたアジアを中心とする世界の既存観測拠点での国際協力を今後一層重視する．また、地球規模の海洋観測実現のために、まず海洋観測プラットフォームの確立が不可欠である．さらに広大な海洋環境観測を効率よく進めるためには、海洋環境での使用に耐える各種センサの開発など観測の自動化が強く求められる．

(6) 具体的施策の提言

以上に基づき、地球環境に係わる観測の取り組みを推進する次の具体的施策を提言する．

地球環境観測システム・観測内容の調整・統合のための連携・推進体制・組織（例えば、「地球環境観測戦略策定委員会」）の設立

長期継続的な地球環境観測を推進する予算措置．例えば、「地球環境長期観測研究推進予算」の創設
「東南/東アジア地球環境モニタリングセンター構想」についての検討

3-7. 課題分析表

(「観測ニーズ」の印は重要なニーズを示し、「優先順位」の印は優先的な取組が必要なものを示す)

対流圏微量気体・エアロゾル

分類	観測ニーズ ：重要	現状	ギャップ (問題・課題)	具体的な取り組み	優先 順位	重点化の視点 (留意事項)
排出実 態・濃度 の把握	対流圏短寿命成分 (エアロゾル, オゾン, 前駆 体ガス)濃度の時間変動 の把握	都市圏での観測が主体 東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(12カ国) 気象庁 WMO/GAW(Global Atmospheric Watch), 国立 環境研による観測 国立環境研究所による定期 貨物船舶による北太平洋 での O ₃ , CO 観測	地域的・グローバルな 観測とその観測網が 不備 アジアでの観測サイト の不足(GAW: 中国数 カ所, インドネシア1ヶ所) 測定成分・項目の 不足	地域代表性のある ルール, リモートサイト での観測の充実 ガス状微量成分 (O ₃ , CO, VOC, NOx, SO ₂ 等), EC, OC等 エアロゾル(化学成分, 物理的性状, 放射 特性), 残留性有機 汚染物質(水銀・ POPs などの)測定		アジアおよび日本に おける総合的地上観 測サイト(スーパーサイト)構 築の検討
排出実 態・濃度 の把握	対流圏短寿命成分(エ アロゾル, オゾン, 前駆体 ガス)濃度の時間変動 の把握	航空機, ライダー観測 日航財団/気象研究所の 日本航空定期便を利用した 上部対流圏の CO ₂ , CH ₄ , CO の モニタリング		対流圏大気化学 観測用航空機による 観測の充実 対流圏オゾンを対象 としたライダー観測 の充実		地球環境観測に貢 献する観測用中型航 空機の保有
排出実 態・濃度 の把握	対流圏短寿命成分 (エアロゾル, オゾン, 前駆 体ガス)濃度の広域空 間変動の把握	欧米での衛星搭載の対流 圏化学種観測による観測の 実施	日本の対流圏化学 観測衛星の欠如	衛星による対流 圏大気汚染広域監 視体制の整備		アジア越境大気汚染 の影響把握の観点か ら特に衛星観測は重 要
排出実 態・濃度 の把握	降水成分観測は環境 の酸性化把握とともに 気候変動の視点から の調査	EANET の整備により他の 物質の観測に比べてむしろ 先行的に充実	降水中イオン成分 以外の観測が十分で ない。	ブラックボンの除 去過程として重要 な降水中への取り 込みの地域的な収 支把握の降水調査 EC/OC(元素状炭 素/有機エアロゾル) などの観測		
アジア越境 大気汚染 の理解	オゾン, 微小エアロゾ ルの流入・越境汚染が 我が国の環境基準達 成に与える影響の把握	都市周辺での大気汚染の 視点からの観測 砂漠化の拡大に伴う土壌 系エアロゾルの監視の視点 からの観測	都市域から離れた リモート地点での観測の 不足	短寿命成分の中 では比較的大気寿 命の長い, O ₃ , CO, VOC, 微小エアロゾ ルなどの観測 水銀, POPs などの 残留性汚染物質 の観測		半球大気汚染の視 点からはアジア全域に わたるリモート地点での 継続観測と地点の適 切な配置が必要
エアロゾル, オゾン等の 地域気候 影響の理 解	エアロゾル・オゾン等の濃 度分布の空間的, 季 節的変動, これらの 地域的気候に対する 影響の把握			エアロゾルの化学組 成, 物理特性, 放 射特性の継続的観 測が重要		
大気微量 成分・エ アロゾルの 生物影響 の把握		一部汚染地域での離散的 調査	大気微量物質と併 せた生物影響の系統 的広域調査の不足	モニタリング手法の検 討		

成層圏オゾン・エアロゾル

排出実態・濃度の把握	オゾン全量と時間変化, オゾン濃度鉛直分布の把握	ドブソン分光光度計等による全量観測(229 地点) オゾンゾンデによる鉛直分布観測(63 地点)(WMO: 全球オゾン観測組織 GO3OS)	赤道域, シベリア: 観測ほぼ空白 東南アジア, アフリカ, 南アメリカ: 観測手薄	観測空白地域, 特にシベリア, 東南アジアでの観測の充実	アジアの総合観測サイトの構築による成層圏, 対流圏温室効果ガスの総合的・効率的把握の観点から重要
排出実態・濃度の把握	オゾン全量・鉛直分布の衛星観測による広域監視	衛星搭載の Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) による観測		長期継続観測 (寿命を超えた運用) 長寿命センサの開発	成層圏大気化学成分衛星による監視体制の充実
排出実態・濃度の把握	オゾン・オゾン層破壊関連物質濃度変動の把握	マイクロ波 / 赤外 / 可視 / 紫外分光観測による各種気体成分変動遠隔観測, オゾンゾンデ観測(約 80 地点)(成層圏変化検出ネットワーク NDSC)	東南アジア, アフリカ, 南アメリカ: 観測手薄特に赤道域: 観測空白	空白地域の解消, またの観測測器・項目の充実(オゾン全量, オゾン鉛直分布, ClO, HCl, ClONO ₂ 等の観測) 観測開始後 10 年経過, 継続の確保	成層圏・対流圏大気化学衛星センサの検証にも重要
オゾン層破壊プロセスの理解	エアロゾルと成層圏放射・熱収支及び成層圏オゾン破壊との関係の解明	ライダーによるエアロゾル観測ライダーの開発や利用については世界をリード	エアロゾルのサブリング調査の不足	エアロゾル濃度の他に, 粒径分布, 形状, 表面状態観測 化学組成調査の成層圏航空機・大気球観測	極域の成層圏, 火山噴火直後の成層圏エアロゾル観測を定常体制に移行
	南極オゾンホール / 北極オゾン層破壊と気候変動の解明	極域におけるドブソン分光光度計等による全量観測 オゾンゾンデによる鉛直分布観測結果と成層圏気温, 極域成層圏雲の観測		成層圏水蒸気,	極域での長期的
	北極域でのオゾン集中観測 ILAS プロジェクト等			気温の同時観測 極成層圏エアロゾルの形成過程の大気レーダー・大気球観測	観測の継続
	オゾン層破壊に関連する物質全量・鉛直分布の総合解析	Satellite Aerosol and Gas Experiment (SAGE), Halogen Occultation Experiment による観測 NDSC による観測			ミリ波・サブミリ波観測による成層圏大気成分観測衛星の運用
オゾン層破壊の影響観測	地上紫外線ス펙トル / UV-B 量(NDSC) 紫外線増大による生物影響調査	地上紫外線分光ス펙トル観測	東南アジア, アフリカ, 南アメリカにおける観測手薄で, 特に赤道域観測が空白 生物影響実態の系統的調査の不足	地上紫外線量と生物影響実態の系統的調査	

広域海洋汚染

排出実態・濃度の把握	海洋バクテリア汚染の把握	北西太平洋及び日本周辺海域の海水中の重金属及び油汚染の観測を海洋気象観測船により定期的実施(気象庁)				アジアの海洋環境の総合的モニタリングを各国の連携・協力で実行
排出実態・濃度の把握	日本周辺海域、閉鎖性の高い主要湾域等での汚染の把握	日本周辺海域、閉鎖性の高い主要湾域等において定期的に海水や海底堆積物を採取、油分、ポリ塩化ビフェニル(PCB)、重金属等の調査(海上保安庁)	調査の多くは沿岸中心、排他的経済水域外の海域の調査は不足 鉛直方向の汚染分布は未把握 底質及び生物・生態系に関する観測は不足	汚染の影響が重大な物質や汚染指標物質の広域総合的調査を数年に1度実施		広域・全球規模の観測には4種の海洋観測プラットフォーム：海洋観測船、篤志観測船、係留ブイ、人工衛星の特徴を生かした有機的運用 気象庁、環境省や海上保安庁などが実施している観測データの電子化、集積化およびデータベース化が必要
排出実態・濃度の把握	海洋生物・生態系を含めた海洋環境の長期にわたる変化を監視	排他的経済水域内の生物・生態系を含めた海洋環境の変化のモニタリング調査(環境省)	有機塩素化合物、有機双環化合物、有機リン系化合物等の海洋汚染のモニタリングは短期間で、海域も限定	海洋生物に濃縮され、長期的に重大な悪影響を及ぼす有害化学物質測定強化・充実		篤志観測船の観測で使用可能なセンサ類の開発観測自動化は最重要課題
排出実態・濃度の把握	有害化学物質の影響実態把握	有害化学物質の魚介類中蓄積状況の実態把握、魚介類への影響実態調査(水産庁)		難分解性有機汚染物質の生態系プラットフォームの各段階における生物中の濃度調査を実施		
汚染プロセスの理解	海洋汚染プロセスの解明(研究プロジェクト)	数年の研究期間での広域あるいは地球規模の海洋汚染・環境観測	離散的なデータ収集、また観測規模、期間共が不十分	各種競争資金の充実 大気経由の有害化学物質の長距離輸送による負荷の観測を含む北太平洋全域の研究モニタリングの実施		研究プロジェクトによるデータは成果報告・論文等で必要な範囲での部分的公開
汚染プロセスの理解	外洋域の一次生産量に關与する必須元素、大気汚染物質、海洋生態系放出ガス状物質などのメテオロロジックスの把握	動態・プロセス解明のための広域・地球規模の海洋物質循環、汚染観測は科研費および地球環境研究総合推進費等により一部実施	内容・規模、期間共に不十分	海洋からの自然起源の硫化メチルや塩化エチル、臭化メチルなどの有機ハロゲン化合物の動態と海洋汚染の同時調査		広域大気-海洋相互作用の観測では特に海洋側からの視点(汚染物質の輸送、海洋生態系との関わりなど)が重要
影響プロセスの理解	生態系に対する海洋汚染の影響の包括的な把握：生物中の汚染物質濃度のモニタリングと生物個体数・種類数などの生物群集構造に関する同時調査の実施	海洋構造、海洋生物の調査を含む海洋観測を気象庁、環境省、水産庁などで定期的実施 JAMSTEC、東京海洋大学、東京大学海洋研究所などを中心にしたプロジェクト観測で実施	海域、季節、頻度などが限定 生態系の調査は圧倒的に不足	海洋構造把握の水温、塩分観測、化学・生物学的状況把握の栄養塩類、ケロフィド、さらに動植物プランクトン類調査 生物個体数・種類数などの生物群集構造の調査 海洋環境の変動は気候変動や炭素循環とも深く関連、これらの観測と併せて実施		有害化学物質は生物蓄積、高毒性、広域拡散等の特性から長期的な悪影響が懸念、海洋生物の長期監視が不可欠 海洋表層の物理的構造が大気循環の変動や地球温暖化などの影響で変動、さらに海洋表層の物質循環や生物の活動に影響、これらの相互作用の把握が重要