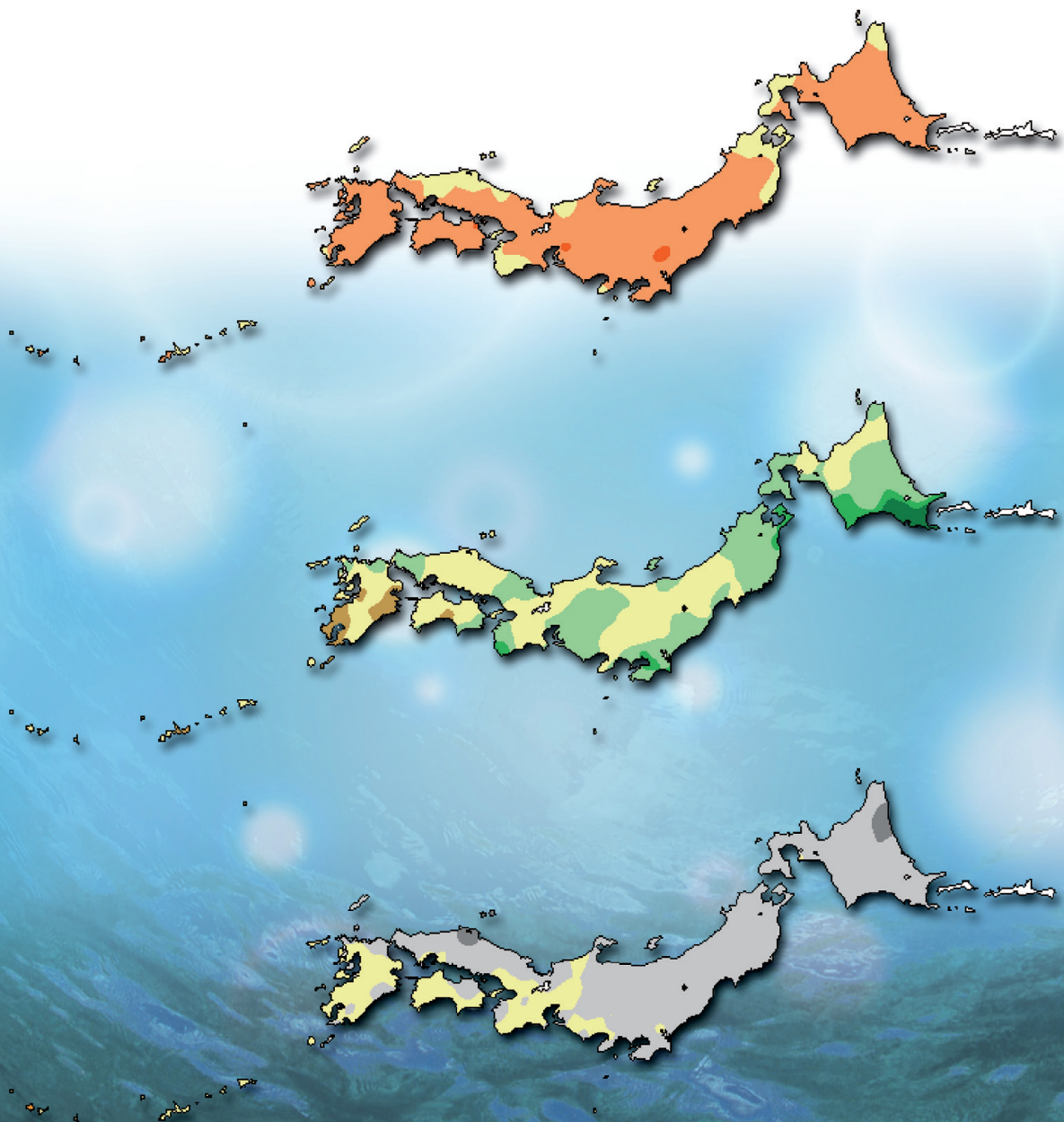


# 気候変動監視レポート

2009

世界と日本の気候変動および温室効果ガスとオゾン層等の状況について



平成22年6月  
気象庁

# 気候変動監視レポート 2009

世界と日本の気候変動および温室効果ガスとオゾン層等の状況について

気 象 庁

（表紙の説明）

表紙の図は、日本における 2009 年の年平均気温、年降水量および年間日照時間の平年差（比）分布  
図表の説明など詳細は、16 ページに掲載。

## はじめに

2010年、各国の温室効果ガス削減目標などを定めた京都議定書の第一約束期間（2008～2012年までの5年間）は3年目を迎えました。京都議定書の第一約束期間後の温室効果ガス削減に関する国際的な枠組みの構築についても、昨年12月の気候変動枠組条約第15回締約国会議（COP15）において、我が国は、全ての主要国による公平で実効性のある枠組みの構築と意欲的な目標の合意を前提に、温室効果ガスの排出量を2020年までに1990年比で25%削減する目標を掲げるなど、気候変動の緩和の推進に向けた動きが活発になっています。

また、昨年8～9月には、第3回世界気候会議（WCC-3）が開催され、気候変動への適応に資する気候情報の利活用を進めるための「気候サービスのための世界的枠組み」の構築を決定しました。大雨、少雨、熱波、寒波等の極端な気象・気候現象が社会経済へ与える影響は非常に大きく、それらへの「適応策」の基礎となる気候情報に対するニーズと、さらに使いやすい気候情報への改善の期待は世界的に高まっています。

気象庁では平成8年より毎年「気候変動監視レポート」を刊行し、気候、海洋、大気環境の観測・監視結果を提供してきました。本年のレポートでは、それらの監視結果に加え、昨夏の全国的に不順な天候についてトピックとして取り上げています。本レポートが国内外の関係機関や気候情報の利用者に広く活用され、気候変動対策に貢献するとともに、地球環境に関する科学的理解の一助となることを期待しています。

最後に、本書の作成にあたり、気候問題懇談会検討部会の近藤洋輝部会長をはじめ専門委員各位には、内容の査読にご協力をいただきました。ここに厚くお礼を申し上げます。

平成22年6月  
気象庁長官 櫻井 邦雄

# 目次

2009 年の主な監視結果	1
トピックス 「平成 21 年夏の日本の不順な天候」	3
<b>第 1 部 気候</b>	<b>5</b>
第 1 章 世界の気候	
1.1 2009 年の世界の天候	5
1.2 世界の気温と降水量	9
第 2 章 日本の気候	
2.1 2009 年の日本の天候	12
2.2 日本の主な気象災害	17
2.3 日本の気温と降水量	20
2.4 極端現象の長期変化傾向	22
【コラム】アメダスでみた大雨発生回数の長期変化	29
【コラム】各地における最近約 30 年の気温の顕著現象等の変化傾向	32
2.5 台風	34
2.6 日本の都市のヒートアイランド現象	36
<b>第 2 部 海洋</b>	<b>38</b>
第 1 章 世界の海洋	
1.1 世界の海面水温	38
1.2 エルニーニョ/ラニーニャ現象	40
1.3 北極・南極域の海氷	43
第 2 章 北西太平洋・日本近海	
2.1 北西太平洋の海面水温・海流	44
2.2 日本沿岸および近海の海面水位	47
2.3 オホーツク海の海氷	50
2.4 北西太平洋の海洋汚染	52
<b>第 3 部 環境</b>	<b>56</b>
第 1 章 温室効果ガスおよびオゾン層破壊物質などの状況	
1.1 大気中の温室効果ガスおよびオゾン層破壊物質	57
1.2 海洋の二酸化炭素	68
1.3 エーロゾル	71
第 2 章 オゾン層および紫外線の状況	
2.1 オゾン層	74
2.2 紫外線	78
第 3 章 黄砂・酸性雨の状況	
3.1 黄砂	81
3.2 酸性雨	83
用語一覧	85
参考図	88
謝辞	90

# 2009年の主な監視結果

( )内は対応する章節番号。

## 第1部 気候

### 第1章 世界の気候

- ・ 年平均気温は、中央シベリアから西シベリア、カナダから米国などを除き、多くの地域で平年より高くなった。(1.1)
- ・ 年降水量は、東シベリア、フィリピンからインドネシア、ヨーロッパからアフリカ北部で平年より多く、アラビア半島、南米南部、オーストラリア中南部で平年より少なかった。(1.1)
- ・ 世界の年平均気温の平年差は $+0.31^{\circ}\text{C}$ で、1891年の統計開始以降、3番目に高い値となった。長期的には100年あたり $0.68^{\circ}\text{C}$ (統計期間:1891~2009年)の割合で上昇している。(1.2)
- ・ 世界の年平均降水量の平年比は100%であった。(1.2)

### 第2章 日本の気候

- ・ 7月から8月前半にかけ、低気圧や梅雨前線、台風第9号の影響で、北日本から西日本にかけて日照時間が少なく、また、各地で大雨となった。多くの地方で梅雨明けが遅くなったほか、日本海側の地方などで、梅雨明けが特定できなかった。(2.1)
- ・ 日本の年平均気温の平年差は $+0.56^{\circ}\text{C}$ で、1898年の統計開始以来、7番目に高い値となった。長期的な傾向として、100年あたりおよそ $1.13^{\circ}\text{C}$ (統計期間:1898~2009年)の割合で上昇している。(2.3)
- ・ 日本の年降水量の平年比は99%であった。(2.3)。
- ・ 台風の発生数は22個(平年26.7個)、日本への接近数は8個(同10.8個)、日本への上陸数は1個(同2.6個)であった。(2.5)

## 第2部 海洋

### 第1章 世界の海洋

- ・ 世界の年平均海面水温平年差は、 $+0.23^{\circ}\text{C}$ で、1891年以降では2番目に高い値となった。長期的には100年あたり $0.50^{\circ}\text{C}$ (統計期間:1891~2009年)の割合で上昇している。(1.1)
- ・ 2009年夏以降、エルニーニョ現象が発生した。(1.2)
- ・ 北極域の海水域面積の年最小値は、2007年、2008年について3番目に小さい記録となった。(1.3)

### 第2章 北西太平洋・日本近海

- ・ 日本近海の年平均海面水温は、長期的には100年あたり $0.7\sim 1.7^{\circ}\text{C}$ (統計期間:1900~2009年)の割合で上昇した。(2.1)

- ・ 日本沿岸の年平均海面水位は平年値と比べて 37mm 高く、1960 年以降で第 4 位に相当する。1990 年代後半以降は平年値と比べて高い年が続いている。(2.2)
- ・ 2008 年 12 月～2009 年 5 月におけるオホーツク海の 5 日ごとの海氷域面積（半旬海氷域面積）は、期間を通して概ね平年より小さい状態で経過した。面積が最大となったのは 3 月 5 日で、その値は 109.34 万 km<sup>2</sup> であり、前シーズンの最大海氷域面積（110.69 万 km<sup>2</sup>）、最大海氷域面積の平年値（122.83 万 km<sup>2</sup>）より小さかった。(2.3)

## 第 3 部 環境

### 第 1 章 温室効果ガスおよびオゾン層破壊物質などの状況

- ・ 世界の大気中の二酸化炭素濃度は増加を続けており、2008 年の世界平均濃度は前年より 2.0ppm 増加して 385.2ppm であった。産業革命以前の平均的な値とされる 280 ppm と比べて 38%増加している。(1.1)
- ・ 2009 年の国内の二酸化炭素年平均濃度は、綾里で 389.7ppm、南鳥島で 388.0ppm、与那国島では 389.4ppm で、それぞれ前年に比べ 1.2ppm、1.4ppm、1.4ppm 増加し、いずれも観測開始以来最高となった。(1.1)

### 第 2 章 オゾン層および紫外線の状況

- ・ 世界のオゾン全量は、1980 年代から 1990 年代前半にかけて大きく減少した。その後、1990 年代半ば以降はほぼ変化がないかわずかに増加傾向となっているものの、現在も少ない状態が続いている。地上観測データによれば、1979 年を基準とした場合、2009 年のオゾン全量は世界平均で約 2.3±0.1%少ない状態である。(2.1)
- ・ オゾンホールは 8 月中旬に発生し、9 月 17 日に最大面積である 2400 万 km<sup>2</sup>まで発達した。過去 10 年の平均をやや下回る規模だった。(2.1)

### 第 3 章 黄砂・酸性雨の状況

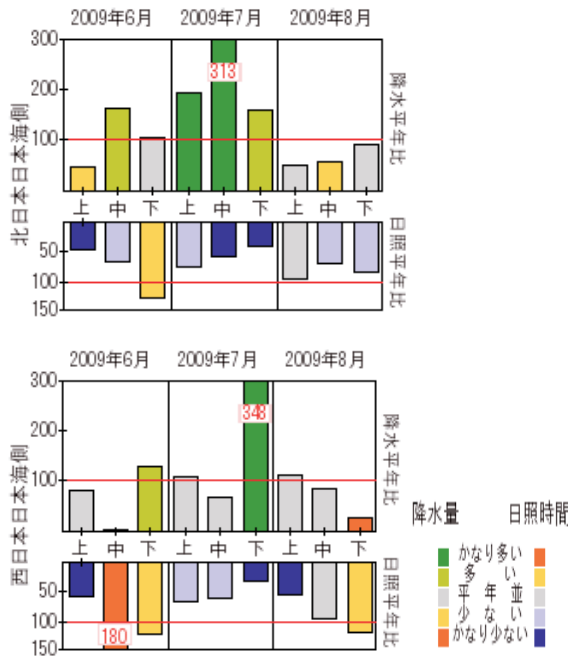
- ・ 2009 年の黄砂観測日数は、22 日、黄砂観測のべ日数（国内の気象官署で黄砂現象を観測した日数の合計）は 251 日であった。近年わが国で黄砂が観測されることが多いが、黄砂観測日数は年々変動が大きく、長期的な傾向は明瞭でない。(3.1)
- ・ 国内の降水中 pH の 2008 年の年平均値は綾里が pH4.5、南鳥島が pH5.2 であった。南鳥島は近年 pH が低下している。(3.2)

# トピックス 平成 21 年夏の日本の不順な天候

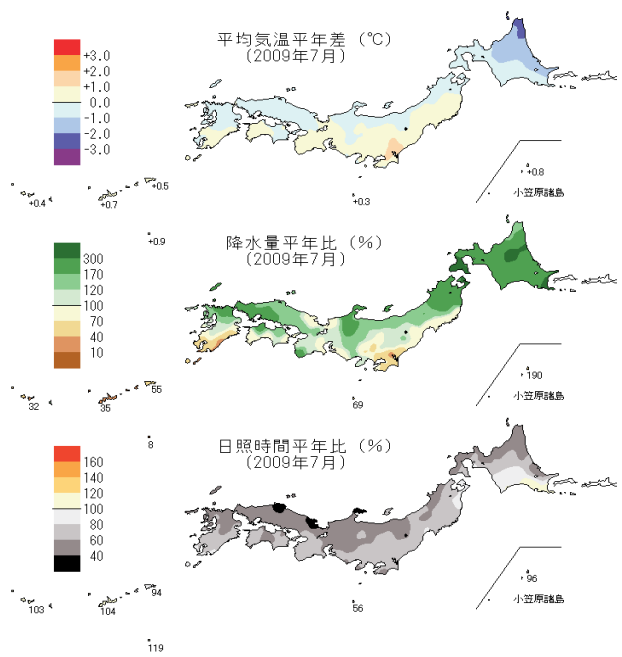
平成 21 年（2009 年）7 月から 8 月上旬にかけて、日本付近は沖縄・奄美を除き、曇りや雨の日が多く、日照時間の少ない不順な天候となった。このような状況を受けて、気象庁では 8 月 3 日に異常気象分析検討会を開催し、7 月の不順な天候について、その状況と要因に関する見解を取りまとめ、公表した。本トピックスでは、検討会開催日以降の状況も含めて、平成 21 年夏の日本の不順な天候についてまとめたものである。

## 1. 天候の状況

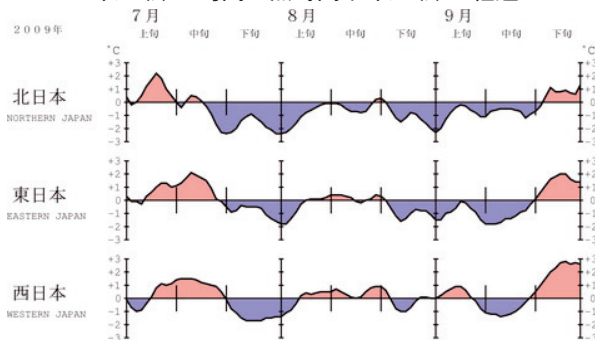
2009 年 7 月から 8 月上旬にかけて、沖縄・奄美など一部の地方を除いて全国的に曇りや雨の日が平年と比べても多くなり（図トピックス-1）、7 月の日照時間は、北日本から西日本にかけての日本海側で記録的に少なくなった（図トピックス-2）。7 月の降水量については、北日本では記録的に多くなり、7 月 19 日から 26 日にかけては「平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨」が発生した。また、日本海側の地方を中心に梅雨明けが記録的に遅くなり、東北、北陸、中国の各地方では梅雨明けが特定できなかった。気温も、7 月下旬に日本海側を中心に平年より低くなり、北日本と東日本日本海側では、その後も平年をほとんど上回ることがないまま、夏が終わった（図トピックス-3）。



図トピックス-1 平成 21 年夏の北日本日本海側（上）と西日本日本海側（下）の地域平均旬降水量平年比（%）と旬間日照時間平年比（%）の経過



図トピックス-2 平成 21 年 7 月の地域平均気温平年差・降水量平年比・日照時間平年比の分布



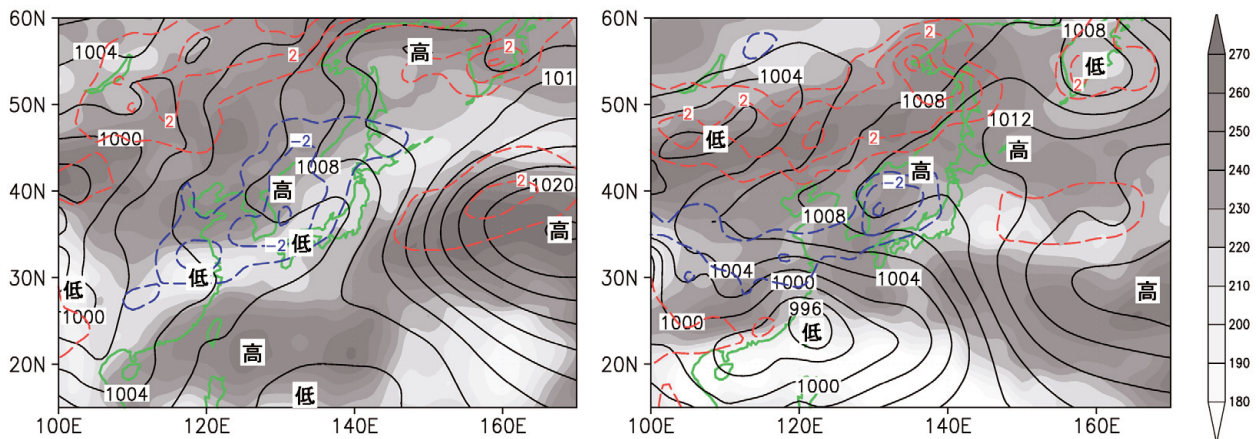
図トピックス-3 平成 21 年 7 月～9 月の地域平均気温平年差の経過（5 日移動平均値）



## 2. 不順な天候をもたらした気圧配置の特徴

2009年7月下旬には、太平洋高気圧は日本のはるか東海上で勢力を強めたものの、日本付近への張り出しは弱くなった。一方、揚子江下流域から日本列島にかけては、南海上から暖かく湿った空気が流れ込み、低気圧や梅雨前線の活動が活発になった。また、沿海州には冷たい高気圧が停滞し、日本海側を中心に寒気が流れ込んだ（図トピックス-4左）。

8月上旬になっても、太平洋高気圧の日本付近への張り出しは弱く、沿海州には寒気を伴った高気圧が停滞した。二つの高気圧にはさまれた本州付近は、7月下旬と比べると活動は弱まったものの前線帯となった（図トピックス-4右）。

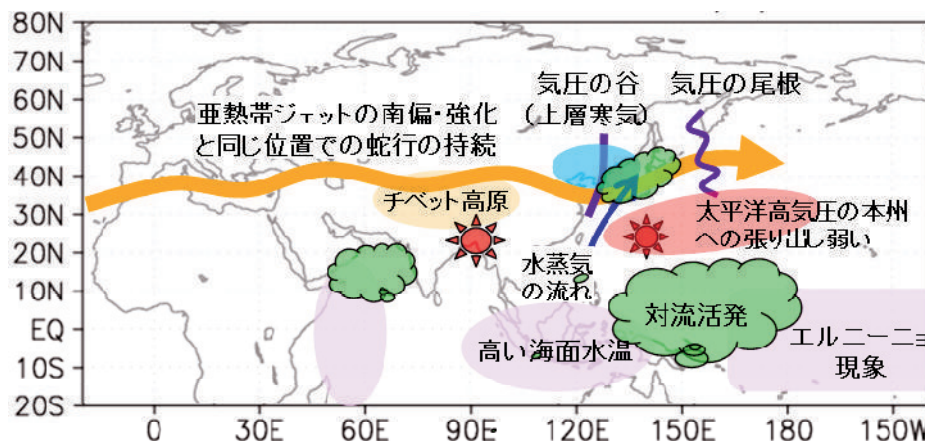


図トピックス-4 日本付近の旬平均の気圧配置（2009年7月下旬（左）と8月上旬（右））

陰影は、外向き長波放射量(OLR)で間隔  $10\text{W/m}^2$ (凡例参照)。OLRは、発達した雲があるところほど小さな値をとり、より白い陰影となる。黒の等値線は、海面更正気圧で等値線間隔は  $4\text{hPa}$ 。破線は、気候同化解析(JCDAS)による地上気温平年差(平年値期間1979~2004年)で等値線間隔は  $1^\circ\text{C}$ 、平年より高い(低い)等値線を赤(青)で描画した。

## 3. このような大気の流れをもたらした要因

図トピックス-5に、このような気圧配置をもたらした大気の流れの特徴の概念図を示す。上空の偏西風(亜熱帯ジェット気流)が平年より南に位置したことが要因の一つとして挙げられる。その理由として、平成21年夏に発生したエルニーニョ現象や同年夏のアジアモンスーンに伴う積乱雲の発達(対流活動)がインド北部からフィリピン東海上にかけて平年より弱かったことの影響が考えられる。特に、赤道域を30~60日の周期で積乱雲の発達域が東進する現象(赤道季節内振動と呼ばれている)と関連して、7月下旬にフィリピン北部付近で積乱雲の発達が見られなかったことは、太平洋高気圧の日本付近への張り出しを弱め、記録的な梅雨明けの遅れ等につながった。



図トピックス-5 2009年7月の不順な天候をもたらした大気の流れの特徴の概念図  
7月の状況をベースとして、7月後半の状況に注目しながらまとめた。

# 第1部 気候

気候は、大気や海洋、陸面などさまざまな要因が絡み合って相互に作用しながら、数週間、季節、年、数十年、さらにそれ以上のさまざまな時間スケールで変動する。このように複雑な気候変動を監視するために、気象庁では、日本国内では、全国156 地点の気象台等と約1,300 地点の地域気象観測所（アメダス）などにおいて、気温や降水量などの地上観測を実施しているほか、世界各地のおよそ1,200 地点の観測所における気温や降水量などの地上観測データを、全球通信システム（GTS）を用いて収集している。このように収集されたデータにより、気候の背景となっている大気の循環場の状態を診断・解析し、気候に関する現在の状況の的確な把握に努めている。第1部では、これらの気候に関する動向について、2009 年の監視結果を示す。なお、2010 年以降の監視状況は、地球環境の診断（<http://www.data.kishou.go.jp/climate/index.html>）で提供している。

## 第1章 世界の気候

### 1.1 2009 年の世界の天候

#### 1.1.1 2009 年の世界の天候の特徴

図 1.1-1、図 1.1-2 に 2009 年の年平均気温平年差と年降水量平年比の分布図を示す。平年値は 1971～2000 年の値から求めている。また、図 1.1-3、図 1.1-4 に異常高温・低温と異常多雨・少雨の出現頻度分布図を示す。ここで用いる異常高温・低温、異常多雨・少雨とは、月平均気温や月降水量が、その地点・その月の値として 30 年に 1 回程度の値となった場合を指している。

年平均気温は、中央シベリアから西シベリア、カナダから米国などを除き、多くの地域で平年より高くなった（図 1.1-1）。北緯 30 度～南緯 30 度の低緯度域で異常高温となる月が多かったが（図 1.1-3）、米国中部周辺では 10、12 月に異常低温となった。中国周辺は 11 月に、西シベリア～中国東部は 12 月に、それぞれ異常低温となった。

年降水量は、東シベリア、フィリピンからインドネシア、ヨーロッパからアフリカ北部で平年より多く、アラビア半島、南米南部、オーストラリア中南部で平年より少なかった（図 1.1-2）。ヨーロッパ北部は異常多雨となる月が多く、アルゼンチン北部は異常少雨となる月が多かった（図 1.1-4）。

なお、週や月、季節ごとの図表類は、気象庁ホームページで提供している。

（<http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/monitor/index.html>）

#### 1.1.2 主な異常気象・気象災害

2009 年に発生した主な異常気象・気象災害を図 1.1-5 に示す。広範囲もしくは長期にわたった異常気象や、大規模な人的被害が発生した気象災害を選出した。「高温」「低温」「多雨」「少雨」は月平均気温や月降水量で異常気象を示し、そのほかの「大雨」「台風」などは気象災害を示す。気象災害の記述は国連の災害データベース（EM-DAT）や国連の報道機関（IRIN）、各国の政府機関の発表等に基づいている。各異常気象・気象災害の概況は以下のとおり。

- (1) 西シベリア～中国東部の低温（12 月） 西シベリアから中国東部では、北からの寒気の影響を受けた。ロシアのビティム：12 月の月平均気温 $+38.1^{\circ}\text{C}$ （平年差 $-12.6^{\circ}\text{C}$ ）、中国のリャオニン（遼寧）省シェンヤン（瀋陽）：12 月の月平均気温 $-11.1^{\circ}\text{C}$ （平年差 $-3.8^{\circ}\text{C}$ ）。
- (2) 中国周辺の低温（11 月） 11 月中旬を中心に発達したシベリア高気圧の影響を受けた。中国では雪により 30 人以上が死亡したと伝えられた。中国シャンシー（山西）省のタイユワン（太原）：11 月の月平均気温 $-0.9^{\circ}\text{C}$ （平年差 $-3.8^{\circ}\text{C}$ ）。
- (3) モンゴル東部～北海道南部の多雨（雪）（12 月） 北から寒気が流入し、低気圧がたびたび通過したため、多雨（雪）となった。ロシアのスレテンスク：12 月の月降水量 22mm（12 月の月降水量平年値：5.7mm）、北海道の寿都：12 月の月降水量 190.0mm（12 月の月降水量平年値：

119.0mm)。

- (4) 中国～中東の高温 (2～10月) 中国から中東では、2月から10月にかけて、たびたび異常高温となった。中国コワントン (広東) 省のコワンチョウ (広州) : 2月の月平均気温 21.0℃ (平年差+6.2℃)、サウジアラビア北部のアルカイスーマ : 2月の月平均気温 19.0℃ (平年差+5.3℃)。
- (5) フィリピンの台風・大雨 (5、9～10月) フィリピンでは、5月初めに、台風第1号と第2号が相次いで接近し、90人以上が死亡したと伝えられた。また、フィリピンでは、9月末から10月初めにかけて、台風第16号と第17号が相次いで接近し、860人以上が死亡したと伝えられ、10月末に接近した台風第21号によって、30人以上が死亡したと伝えられた。フィリピン北部のバギオ : 台風第17号による10月6～8日の3日間降水量が1220mmに達した(10月の月降水量平年値 : 514.3mm)。
- (6) ミクロネシア～インドネシアの高温 (4～12月) ミクロネシアからインドネシアでは、4月から12月にかけて、たびたび異常高温となった。ミクロネシアのヤップ島 : 8月の月平均気温 29.1℃ (平年差+2.2℃)。
- (7) インド南部の大雨 (9～10月) 9月末から10月初めにかけて、インド南部では大雨による洪水が発生し、320人以上が死亡したと伝えられた。インド中南部のクルヌールでは9月28日～10月3日の6日間降水量が300mmに達し (平年比約1290%)、インド南西部のホナバルでは9月28日～10月3日の6日間降水量が400mmに達した (平年比約1040%)。
- (8) ヨーロッパ北部の多雨 (7月) ヨーロッパ北部では、低気圧や前線が頻繁に通過した。英国南部 (イングランド) では、7月の降水量としては、1914年以降で最も雨が多かったと伝えられた。英国西部のカンボーン : 7月の月降水量 222mm (平年比 424%)。
- (9) アラル海～アフリカ北部の多雨 (9月) アラル海からアフリカ北部では、月を通してたびたび低気圧や前線が通過した。トルコでは大雨による洪水で40人以上が死亡したと伝えられた。トルコ西部のバンドゥルマ : 9月8～9日の2日間降水量が220mmに達した (9月の月降水量平年値 : 30.2mm)。
- (10) アフリカ南部の大雨 (3月) 雨季の大雨によりザンベジ川上流などで洪水となり、ザンビアやナミビアなどで数十万人が避難していると伝えられ、ナミビアでは90人以上が死亡したと伝えられた。ナミビア北部のオンダングアでは、3月1～2日の2日間降水量が110mmに達した(3月の月降水量平年値 : 108.2mm)。
- (11) マダガスカル周辺の高温 (1～2、5～12月) マダガスカル周辺では、1月から2月にかけて、及び5月から12月にかけて、たびたび異常高温となった。モーリシャスのロドリゲス島 : 5月の月平均気温 25.6℃ (平年差+1.2℃)。
- (12) 米国中部周辺の低温 (10、12月) 米国中部周辺では、10、12月、北から寒気の影響を受けることが多かった。10月には、ミシガン州などで低温による農作物への被害が伝えられた。米国サウスダコタ州のラピッドシティ : 10月の月平均気温 3.7℃ (平年差-5.4℃)。
- (13) 中米～南米北部の高温 (5～12月) 中米から南米北部では、5月から12月にかけて、たびたび異常高温となった。ベネズエラのカラカス : 9月の月平均気温 26.5℃ (平年差+3.7℃)。
- (14) アルゼンチン北部周辺の少雨 (1、3～4月) アルゼンチン北部周辺では、1月、3～4月は少雨傾向で、異常少雨となる月もあった。アルゼンチン北部のコルドバ : 4月の月降水量 3mm (平年比 5%)。
- (15) オーストラリア南東部の高温・森林火災 (1～2月) オーストラリア南東部では1月末から2月初めに異常高温となった。また、同地域は少雨傾向が続き、ビクトリア州などでは大規模な森林火災により180人が死亡したと伝えられた。オーストラリア南東部のメルボルンでは、1月の月降水量が1mm (平年値 : 46.1mm) で、日最高気温は1月28～30日に43℃を超える日が続き、2月7日には46℃に達した (平年では日最高気温は約26℃)。

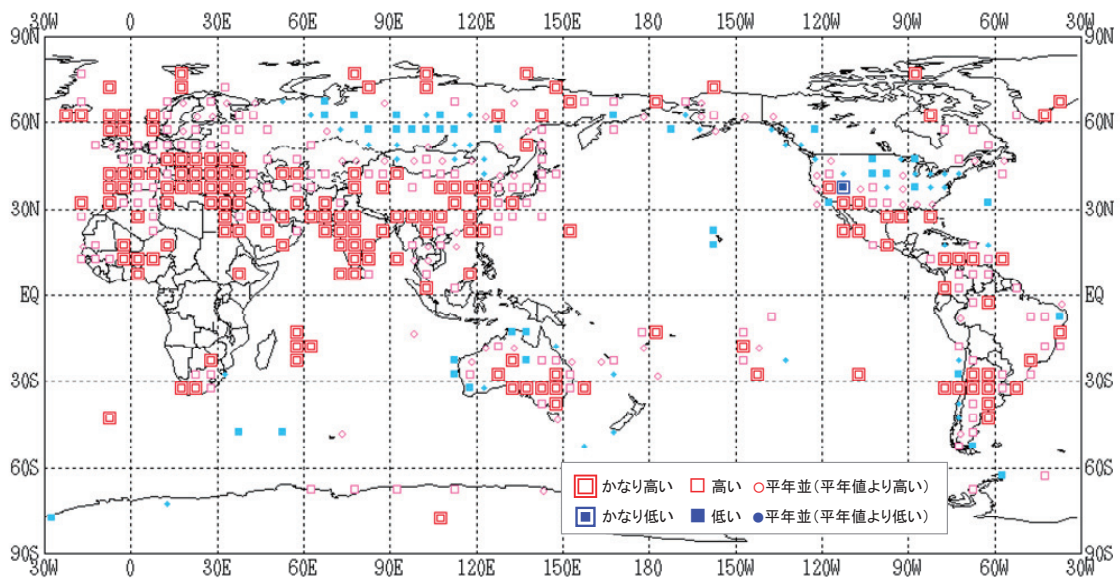


図 1.1-1 年平均気温平年差規格化階級分布図 (2009 年)

各観測点の年平均気温平年差を年の標準偏差で割り (規格化)、緯度・経度 5 度格子の領域ごとにそれらを平均した。階級区分値を -1.28、-0.44、0、+0.44、+1.28 とし、それぞれの階級を「かなり低い」「低い」「平年並 (平年値より低い)」「平年並 (平年値より高い)」「高い」「かなり高い」とした。陸域でマークのない空白域は、観測データが十分でないか、平年値がない領域を意味する。

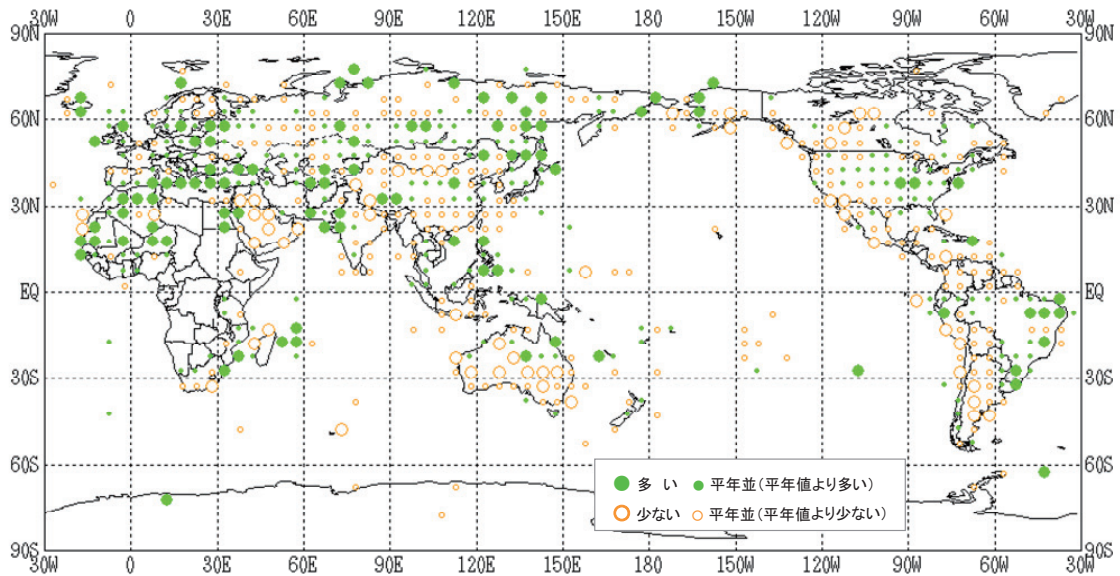


図 1.1-2 年降水量平年比分布図 (2009 年)

各観測点の年降水量平年比を緯度・経度 5 度の領域ごとにそれらを平均した。階級区分値を 70%、100%、120% とし、それぞれの階級区分を「少ない」「平年並 (平年値より少ない)」「平年並 (平年値より多い)」「多い」とした。陸域でマークのない空白域は、観測データが十分でないか、平年値がない領域を意味する。

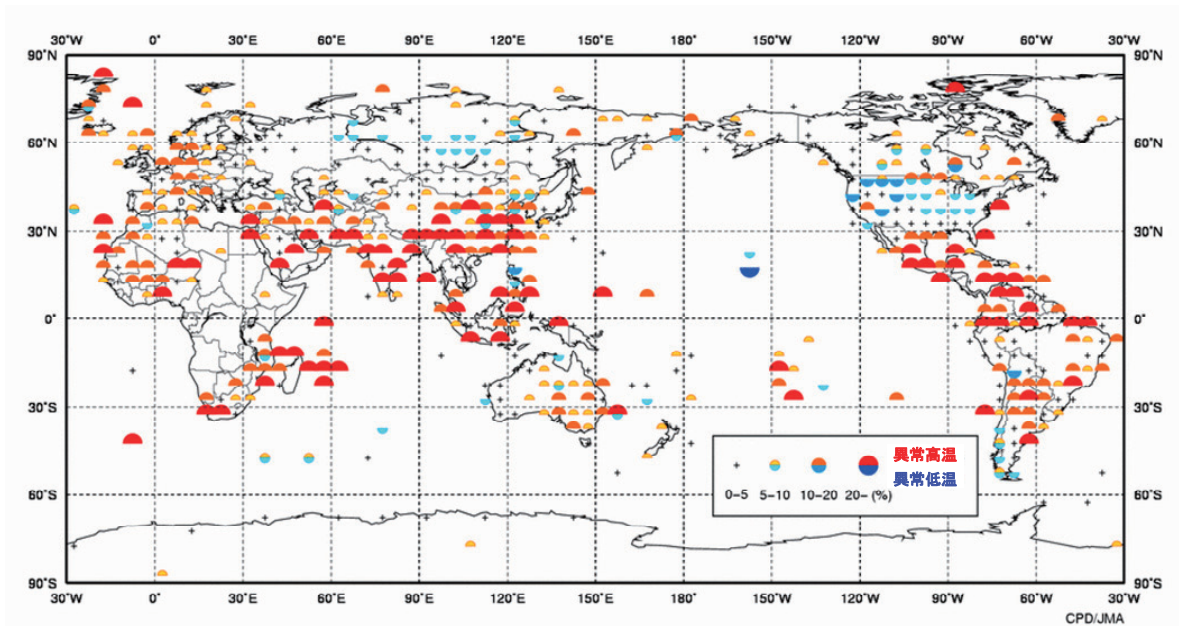


図 1.1-3 異常高温・異常低温出現頻度分布図（2009 年）

緯度・経度 5 度格子内に含まれる観測点で観測された月毎の異常高温・低温の年間の総数を全観測数で割り、1 格子あたりの出現割合として、半円の大きさであらわしている。30 年に 1 度の現象の発生率は平均して約 3%なので、便宜上、異常高温・低温の発生率が 10～20%かそれ以上となった場合に異常値の発生が平年より多かったと判断する。

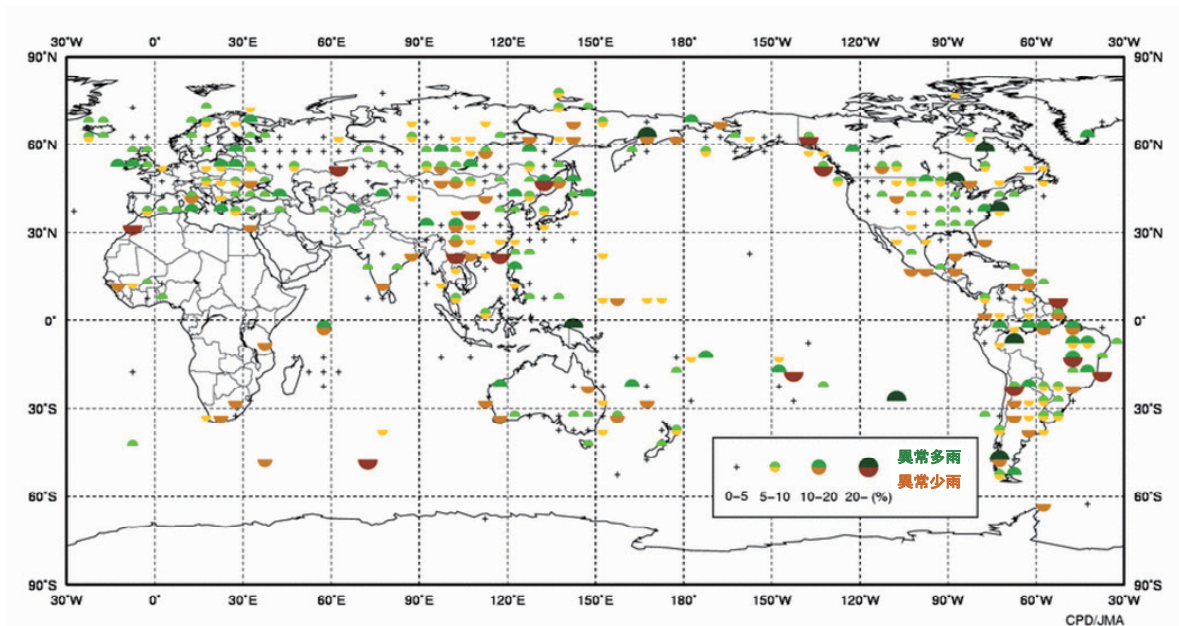


図 1.1-4 異常多雨・異常少雨出現頻度分布図（2009 年）

緯度・経度 5 度格子内に含まれる観測点で観測された月毎の異常多雨・少雨の年間の総数を全観測数で割り、1 格子あたりの出現割合として、半円の大きさであらわしている。30 年に 1 度の現象の発生率は平均して約 3%なので、便宜上、異常多雨・少雨の発生率が 10～20%かそれ以上となった場合に異常値の発生が平年より多かったと判断する。

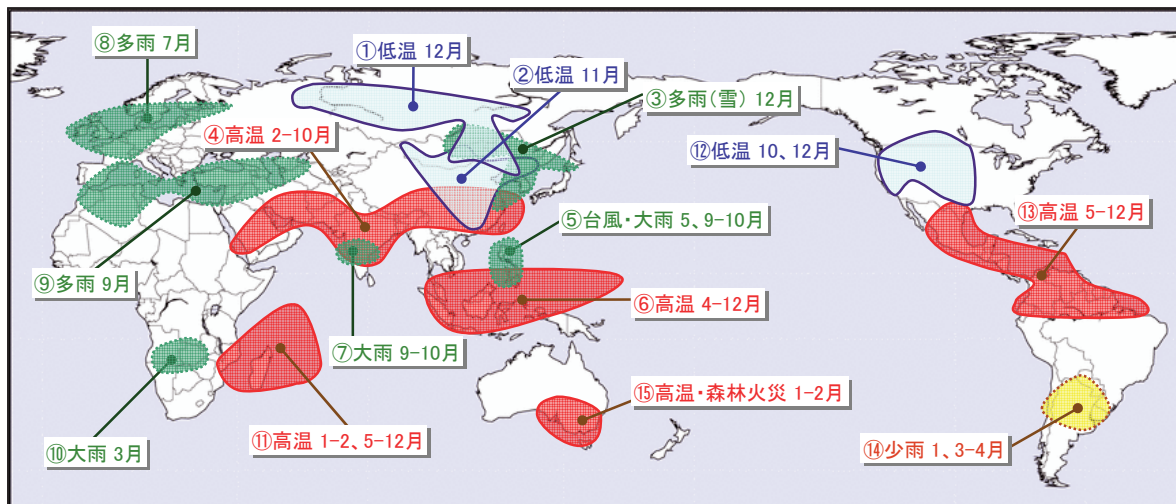


図 1.1-5 2009 年の主な気象災害分布図

2009 年に発生した異常気象や気象災害のうち、規模や被害が比較的大きかったものについて、おおよその地域・時期を示した。図中の丸数字は本文中の括弧数字と対応している。

## 1.2 世界の気温と降水量

2009 年の世界の年平均気温(陸域における地表付近の気温と海面水温の平均)の平年差は $+0.31^{\circ}\text{C}$ (平年値は 1971~2000 年の 30 年平均値)で、1891 年の統計開始以降、2006 年、2003 年、2002 年と並んで 3 番目に高い値となった(図 1.1-6)。

世界の年平均気温は、様々な変動を繰り返しながら、長期的には 100 年あたり  $0.68^{\circ}\text{C}^1$ (統計期間: 1891~2009 年)の割合で上昇している。これは、二酸化炭素などの温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化の影響に、数年~数十年程度で繰り返される自然変動が重なっているものと考えられる。気温の上昇傾向について、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第 4 次評価報告書では、20 世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性が非常に高いとされている。

2009 年の北半球平均の気温は、1891 年の統計開始以降 7 番目に高い値、南半球平均の気温は 2 番目に高い値となった。100 年あたりの上昇率は、北半球平均の気温が約  $0.70^{\circ}\text{C}$ 、南半球平均の気温が約  $0.66^{\circ}\text{C}$ である。

世界各地の観測所で観測された降水量から計算した、2009 年の世界の年平均降水量の平年比は 100%であった。1880 年の統計開始以降、南半球では周期的な変動を繰り返しながらも、長期的には増加傾向がみられる。一方、北半球では、1880 年代、1930 年頃、1950 年代、1990 年代に降水量の多い時期がみられるが、100 年あたりの変化率には有意な変化傾向は認められない(図 1.1-7)。なお、北半球の観測地点数が南半球に比べ多いため、全球平均でも北半球と同様に長期的な変化傾向は明瞭ではない。

<sup>1</sup> IPCC 第 4 次評価報告書では、世界の平均気温の上昇率は 100 年あたり  $0.74^{\circ}\text{C}$ (1906~2005 年)である。本レポートとは算出方法に加え統計期間も違いがあるため厳密には同じ値ではないが、両者は同様の変化傾向を示している。

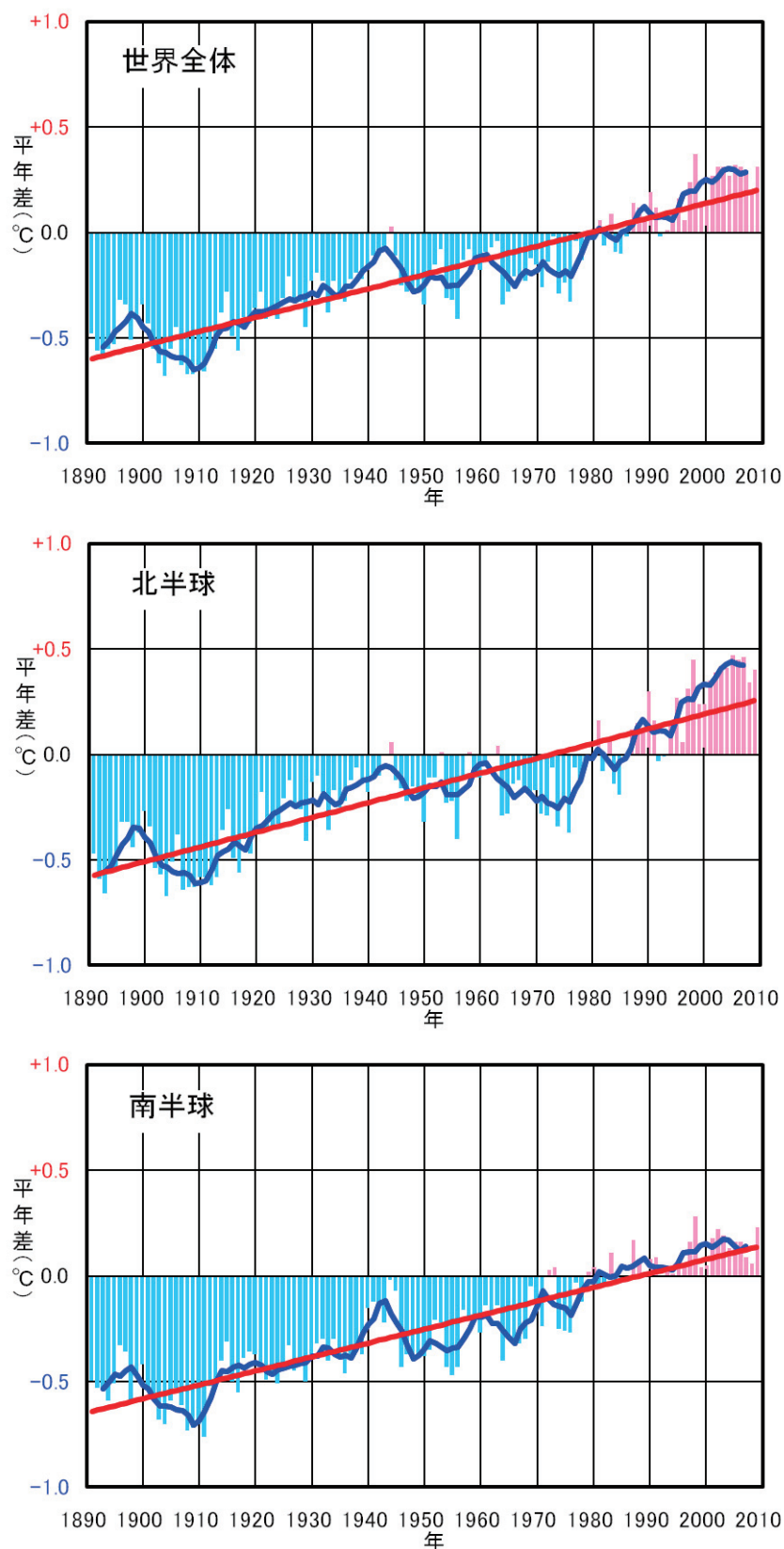


図 1.1-6 年平均気温の変化 (1891~2009 年)

上段は世界平均、中段は北半球平均、下段は南半球平均である。棒グラフは各年の平均気温の年平均差（平年値との差）を示している。太線（青）は年平均差の 5 年移動平均を示し、直線（赤）は年平均差の長期的傾向を直線として表示したものである。平年値は 1971~2000 年の 30 年平均値。

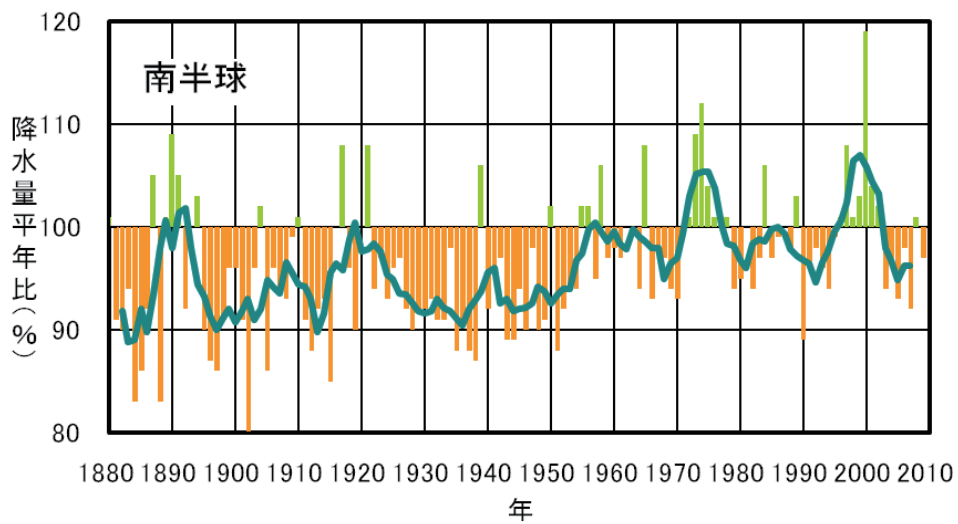
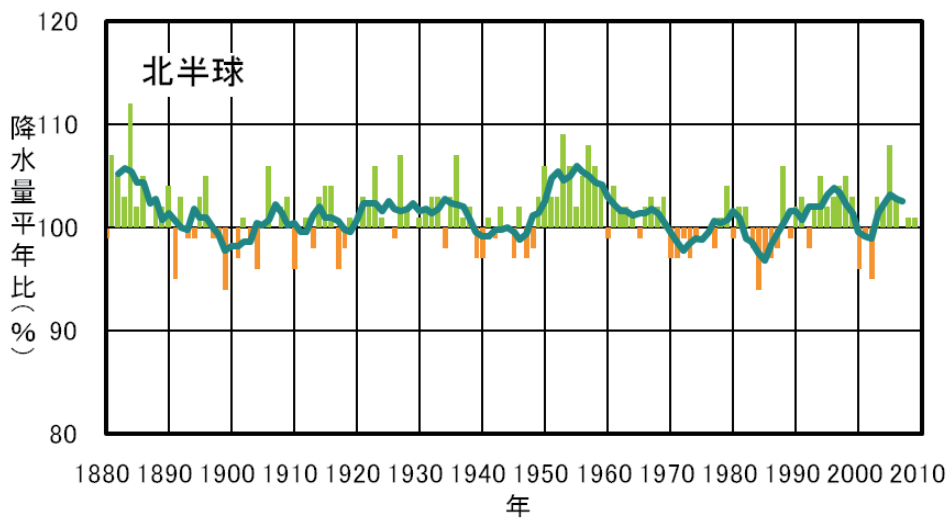
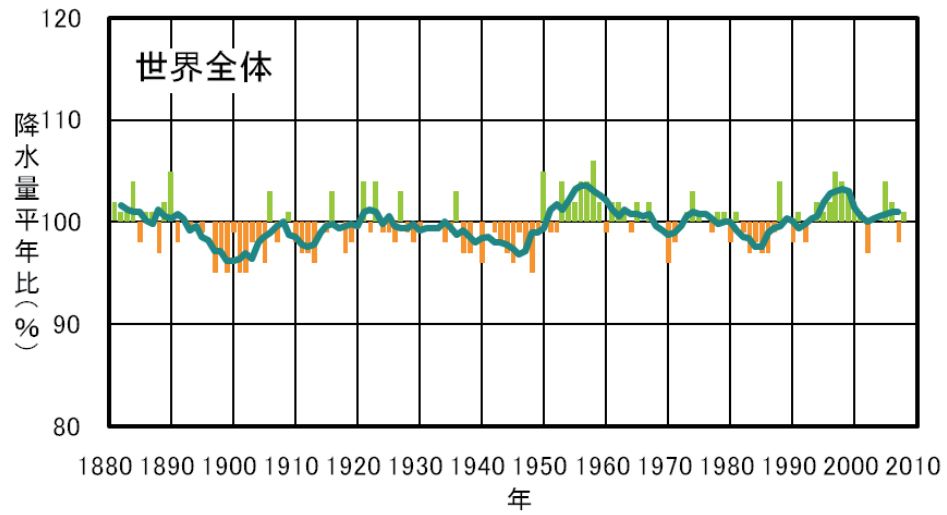


図 1.1-7 年降水量の変化 (1880~2009 年)

上段は世界平均、中段は北半球平均、下段は南半球平均である。棒グラフは各年の年降水量の平年比（平年値に対する比で、%であらわす）を示している。太線（緑）は平年比の 5 年移動平均を示す。平年値は 1971~2000 年の 30 年平均値。



## 第2章 日本の気候

### 2.1 2009年の日本の天候

2009年の日本の天候の主な特徴は以下のとおりである。

- ・冬（2008年12月～2009年2月）は、全国的に気温が高く、日本海側の地方の降雪量は少なく、特に、北・東日本日本海側ではかなり少なかった。
- ・春（3月～5月）は、北日本から西日本にかけて気温がかなり高かった。また、東日本日本海側や西日本で降水量が少なく、特に5月にはかなり少なかった。
- ・夏（6月～8月）は、北日本を中心に日照時間が少なく、降水量が多かった。その傾向は、特に7月に顕著であった。
- ・秋（9月～11月）は、9月に降水量が全国的にかなり少なく、特に、東・西日本を中心に記録的な少雨となった。
- ・台風の発生数は22個（平年26.7個）、接近数は8個（平年10.8個）、上陸数は1個（平年2.6個）といずれも平年を下回った。

#### 2.1.1 年間（図1.2-1参照）

##### (1) 平均気温

2009年の年平均気温平年差は、北日本+0.6℃、東日本+0.7℃、西日本+0.6℃、沖縄・奄美+0.5℃と全国的に高く、特に沖縄・奄美ではかなり高かった<sup>2</sup>。

##### (2) 年降水量

2009年の年降水量は、北日本太平洋側でかなり多く、根室（北海道）では、年降水量の最大値を更新した。一方、西日本太平洋側および沖縄・奄美では少なく、北日本日本海側、東日本および西日本日本海側では平年並だった。

##### (3) 日照時間

2009年の年間日照時間は、北日本、東日本および西日本日本海側で少なかった。一方、沖縄・奄美では多く、西表島（沖縄県）では、年間日照時間の最大値を更新した。西日本太平洋側では平年並だった。

#### 2.1.2 季節ごとの天候（図1.2-2、表1.2-1参照）

##### (1) 冬（2008年12月～2009年2月）

12月末から1月前半は、大陸からの寒気が南下し、冬型の気圧配置となる日が多く、西日本以西を中心に寒気の影響を受け、西日本日本海側では雪や雨の日が多かった。しかし、その後は、冬型の気圧配置は弱く、概ね数日の周期で高気圧と低気圧が本州付近を通過した。気温は全国的に高く経過し、日本海側の地方の降雪量は少なく、特に、北・東日本日本海側ではかなり少なかった。また、東日本日本海側では平年に比べ晴れの日が多かったが、低気圧の通過時に天気が崩れることが多く、北日本、東日本太平洋側、西日本では降水量が多くなった。沖縄・奄美では、1月上旬を除き、寒気や低気圧の影響を受けにくく、晴れの日が多かった。このため、顕著な少雨・多照となった。

平均気温は、全国的に高く、特に北・東日本、沖縄・奄美で顕著であった。5地点で冬の平均気温の高い記録を更新した。降水量は東日本日本海側、沖縄・奄美で少なく、そのほかの地方では多かった。日照時間は北日本で少なく、東日本日本海側と沖縄・奄美でかなり多かった。5地点で冬

<sup>2</sup> 「低い（少ない）」「平年並」「高い（多い）」の階級は、1971～2000年における30年間の観測値をもとに、これらが等しい割合で各階級に振り分けられる（各階級が10個ずつになる）ように決めている。また、値が1971～2000年の観測値の下位または上位10%に相当する場合には、「かなり低い（少ない）」「かなり高い（多い）」と表現する。

の日照時間の多い記録を更新した。

## (2) 春 (3月～5月)

北日本から西日本にかけて、3月下旬から4月初めと4月下旬には大陸から強い寒気が南下して低温、その他の時期は高温と、気温の変動が大きかったものの、3か月を平均すると高温となった。3月は低気圧と高気圧が交互に通り、天気は概ね数日の周期で変わったが、4月は高気圧に覆われて晴れの日が多く日照時間は多くなった。5月も低気圧の影響を受けにくく、降水量は少なく、日照時間も多かった。東日本日本海側や西日本では降水量が少なく、特に5月にはかなり少なかった。沖縄・奄美では、3月、4月には気圧の谷や寒気の影響で曇りや雨の日が多かったが、5月に入ると、前半中心に高気圧に覆われ、晴れの日が多く、梅雨入りが平年より遅くなった。

平均気温は、沖縄・奄美で平年並であったほかは高く、北・東日本で顕著だった。降水量は北・東日本太平洋側で平年並であったほかは少なく、特に西日本で顕著だった。日照時間は北日本太平洋側、東日本日本海側で平年並のほかは多く、特に西日本太平洋側で顕著だった。

## (3) 夏 (6月～8月)

北日本から西日本にかけては、日照時間が少なかった。6月は、平年より早く梅雨入りしたものの、梅雨前線は本州から離れた南海上に停滞することが多く、東日本や西日本では平年並か平年を上回る日照時間となったが、7月から8月前半にかけて、低気圧や梅雨前線、湿った気流や台風第9号の影響で、北日本から西日本にかけては日照時間が少なく、また、各地で大雨となった。北日本では、6月も低気圧や気圧の谷の影響で日照時間が少なく、北日本日本海側では1946年の統計開始以来最も夏の日照時間が少なくなった。太平洋高気圧の日本列島付近への張り出しが弱く、多くの地方で梅雨明けが遅くなったほか、日本海側の地方などで、梅雨明けが特定できなかった。8月後半には天気は概ね数日の周期で変わるようになり、東・西日本では移動性高気圧に覆われ、晴れの日が多かった。北日本から西日本にかけての気温は、7月下旬から8月初めにかけてなど低い時期があったものの、6月下旬から7月前半にかけては高く、夏平均では平年並となった。沖縄・奄美では、6月には太平洋高気圧の張り出しが弱く、低温となったが、7月以降は太平洋高気圧に覆われ晴れて暑い日が続いた。

台風の発生は9個(平年11.2個)、日本に上陸した台風はなく(平年1.5個)、日本に接近した台風は3個(平年5.8個)とそれぞれ平年を下回った。

平均気温は、沖縄・奄美で高く、そのほかは平年並であった。降水量は、北日本、西日本日本海側で多く、沖縄・奄美では少なかった。日照時間は、沖縄・奄美で平年並のほかは少なく、特に北日本で顕著だった。4地点で夏の日照時間の少ない記録を更新した。

## (4) 秋 (9月～11月)

9月は全国的に高気圧に覆われ、晴れの日が多く、日照時間が多く、降水量が全国的にかなり少なく、東・西日本を中心に記録的な少雨となった。10月は、上旬に2007年9月以来2年ぶりに台風第18号が本州に上陸し、沖縄地方から北海道にかけての広い範囲で暴風や大雨となった。このため、10月の降水量は太平洋側で多くなったほか、湿った気流が入りやすく曇りや雨の日が多かった沖縄・奄美でも多くなった。11月になると、低気圧や前線が日本列島付近をしばしば通り、その影響で北・東日本太平洋側、西日本、沖縄・奄美で降水量は多く、特に西日本で顕著だった。9月には少雨、10、11月には多雨と対照的であった。気温は、北日本から西日本にかけては変動が大きく、9月前半と10月の前半、11月初めと11月後半には寒気が流れ込み気温は平年を下回ったが、そのほかの時期は平年を上回った。沖縄・奄美では、9月から10月上旬までは顕著な高温が続き、秋の平均気温はかなり高くなった。

台風の発生は11個(平年11.5個)、日本に上陸した台風は1個(平年1.1個)、日本に接近した

台風は 5 個（平年 4.3 個）と、それぞれほぼ平年程度だった。

平均気温は、北・東日本は平年並、西日本で高く、沖縄・奄美でかなり高かった。降水量は北・東日本日本海側で少なく、沖縄・奄美が多かった。日照時間は東日本日本海側ではかなり多く、北日本日本海側、東日本太平洋側、西日本太平洋側で多く、沖縄・奄美で少なかった。

#### (5)初冬（12月）

気温の変動の大きい状況は 12 月も続き、上旬はほぼ全国的に高かったものの、月半ばから強い寒気が日本付近に南下し、日本海側では雪が降り続き、12 月としては 2005 年以来 4 年ぶりの大雪となった。

表 1.2-1 2009 年の月、季節、年別の平均気温、降水量などの最高（低）値、最大（小）値を更新した地点数

数字は 1 位を更新した地点数でタイ記録は含めない、タイ記録がある場合には「値々」として横に併記した。地域は更新およびタイ記録の地点数の合計が 5 以上のとき記載した

	平均気温		降水量		日照時間		降雪の深さ	最深積雪
	最高	最低	最大	最小	最大	最小	最大	最大
1 月	1、1 ㍻	0	4	0	0	0	0	0
2 月	12、4 ㍻ 東・西日本 沖縄・奄美	0	0	0	1	0	5 北海道	0
冬	5 北・東日本	0	0	4	5 東日本 沖縄・奄美	0	1	
3 月	0	0	0	0	0	0	0	0
4 月	0	0	0	1	7 東・西日本	0	0	0
5 月	1、2 ㍻	0	0	10 北・西日本	4	0		
春	1 ㍻	0	0	0	1	0		
6 月	0	0	1	0	0	0		
7 月	0	0	10 北・西日本	0	0	11 北～西日本		
8 月	0	0	0	0	0	0		
夏	0	0	1	0	0	4		
9 月	7 沖縄・奄美	0	0	19、1 ㍻ 全国	0	0		
10 月	0	0	0	0	0	1		
11 月	0	0	8 西日本	0	0	1	0	0
秋	1 ㍻	0	0	0	0	0		
12 月	0	0	2	0	0	0	1	1
年 (2009 年)	0	0	1	0	1	0		

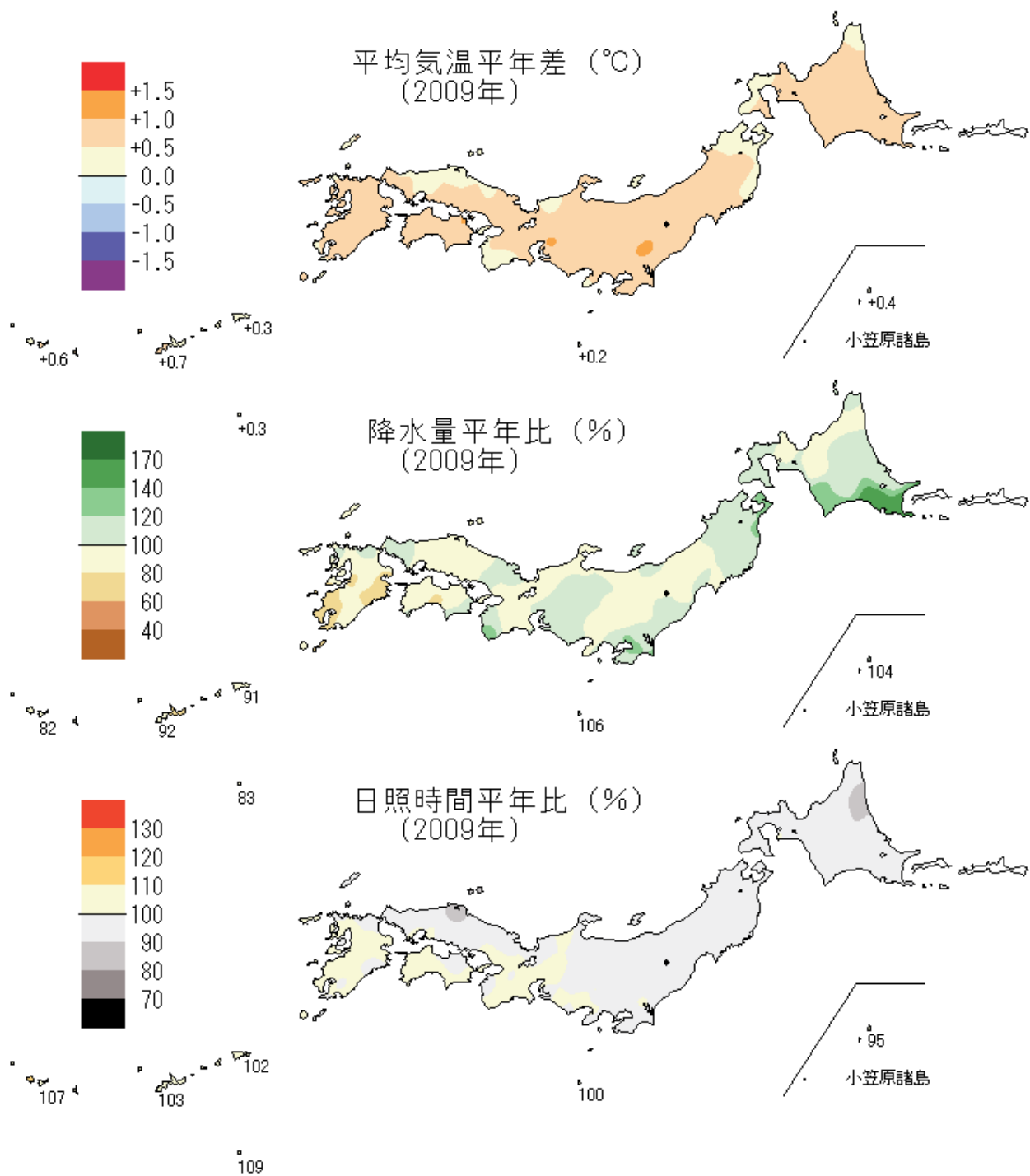


図 1.2-1 日本における 2009 年の年平均気温、年降水量および年間日照時間の平年差（比）分布

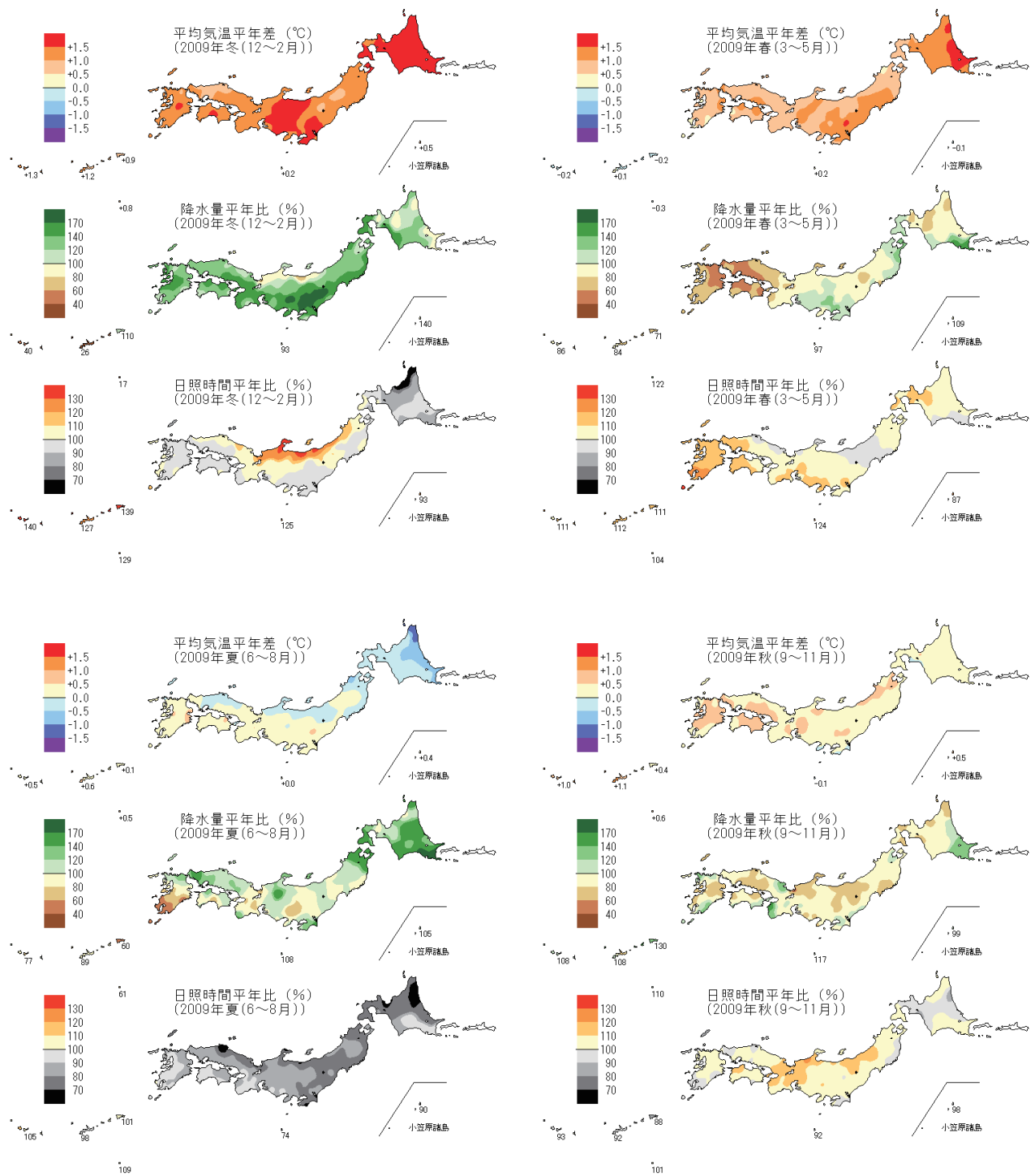


図 1.2-2 日本における 2009 年の季節別の平均気温、降水量、日照時間の平年差（比）分布  
 左上：冬（2008 年 12 月～2009 年 2 月）、右上：春（3～5 月）、左下：夏（6～8 月）、右下：秋（9～11 月）

## 2.2 日本の主な気象災害

2009 年の気象災害の特徴は、7 月 19 日～26 日にかけての「平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨」や、2 年ぶりに本土に上陸して全国的に暴風・大雨の被害をもたらした台風第 18 号など、広範囲に及ぶ大雨による被害が大きかったことである。2009 年の気象災害による被害の合計は、死者・行方

不明者 208 人、住家損壊 4,681 棟、住家浸水 21,900 棟、被害額 1,040 億円（内訳：農業被害 880 億円、林業被害 117 億円、水産業被害 42 億円）であった（2010 年 6 月 15 日現在）。

2009 年の主な気象災害とその原因を表 1.2-2 に示すとともに、その概要を以下に記述する。

2000 年から 2009 年までの気象災害の被害状況を表 1.2-3 に示す。

#### ○長雨、低温、寡照（7 月～8 月）

7 月から 8 月にかけて、北海道は低気圧や気圧の谷、オホーツク海高気圧の影響を大きく受け、気温が平年よりかなり低い時期があった。降水量は平年よりかなり多く、日照時間は平年よりかなり少なかった。このため、水稻の低温障害による不稔の多発をはじめ、小麦の収穫期の降雨による穂発芽、豆類の湿害による生育不良など、多くの作物で減収や品質低下となり、595 億円の農業被害が発生した。

#### ○平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨（7 月 19 日～26 日）

19 日から 26 日にかけて、西日本で梅雨前線の活動が活発になった。これに伴い、21 日は山口県を中心に非常に激しい雨が降り、また、24 日から 26 日にかけて、九州北部地方を中心に大雨となった。このため、中国地方から九州北部にかけての 11 地点で 1 時間雨量の記録を更新し、多いところでは、この期間の降水量が 7 月の月降水量平年値の約 2 倍の大雨となった。死者・行方不明者 39 名、住家損壊 378 棟、住家浸水 11,524 棟、農業被害 65 億円等の被害があった。なお、気象庁はこの豪雨について、「平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨」と命名した。

#### ○台風第 9 号（8 月 8 日～11 日）

8 日に日本の南で発生した熱帯低気圧は北上しながら 9 日 15 時に台風第 9 号となり、10 日に紀伊半島の南、11 日には東海と関東の南を通過して、日本の東海上へ進んだ。この熱帯低気圧及び台風周辺の非常に湿った空気の影響で、8 日から 11 日にかけて九州地方から東北地方の広い範囲で大雨となった。特に、関東、近畿、中国、四国では 11 地点で 1 時間雨量の記録を更新し、この期間の降水量は、5 地点で 8 月の月降水量平年値の 2 倍から 3 倍の大雨となった。死者・行方不明者 27 名、住家損壊 1,165 棟、住家浸水 4,468 棟、林業被害 56 億円等の被害があった。

#### ○台風第 18 号（10 月 6 日～9 日）

9 月 30 日 09 時にマーシャル諸島付近で発生した台風第 18 号は、10 月 6 日には進路を北寄りに変えて南大東島の南へ進み、7 日には四国の南海上に進んだ。8 日には知多半島付近に上陸し、その後、東海地方、関東甲信地方、東北地方を進んで、同日夕方には太平洋に達して同日 21 時に温帯低気圧となり、9 日には千島近海へ達した。この台風は、非常に強い勢力を保ったまま、南西諸島から西日本に接近し、強い勢力で上陸したため、沖縄地方から北海道地方にかけての広い範囲で暴風となった。台風の通過に伴い、近畿地方の一部で 6 日から 9 日までの総雨量が 300mm を超えるなど、沖縄地方から北海道地方の広い範囲で大雨となり、21 地点では最大風速の観測史上 1 位を更新した。また、台風をとりまく発達した雨雲の影響で、8 日朝に茨城県と千葉県で竜巻が発生した。死者・行方不明者 6 名、住家損壊 2,325 棟、住家浸水 3,310 棟、農業被害 166 億円等の被害があった。

表 1.2-2 2009 年の主な日本の気象災害と年間被害合計

本表掲載基準は、死者・行方不明者 5 人以上、または住家損壊（全壊・半壊・一部損壊）1,000 棟以上、住家浸水（床上・床下浸水）1,000 棟以上、あるいは農業被害 100 億円以上である。各都道府県（支庁を含む）の防災機関等からの資料を基に 2010 年（平成 22 年）6 月 15 日現在で集計。2009 年の合計については、主な気象災害以外の災害も含めて集計している。

種 別	月 日	地 域	被 害 状 況						
			死者・ 行方不明 (人)	住家損壊 (棟)	住家浸水 (棟)	被 害 額(億円)			
						農業 被害	林業 被害	水産業 被害	合計
長雨、低温、 寡照	7 月～ 8 月	北海道	0	0	0	595	0	0	595
平成 21 年 7 月 中国・九州北部 豪雨	7.19～ 7.26	関東～九州 北部	39	378	11,524	65	37	1	102
台風第 9 号	8.8～ 8.11	東北～ 九州北部	27	1,165	4,468	12	56	0	69
台風第 18 号	10.6～ 10.9	全国	6	2,325	3,310	166	22	30	217
2009 年合計			208	4,681	21,900	880	117	42	1,040

表 1.2-3 2000 年から 2009 年までの日本の気象災害の推移

各都道府県（支庁を含む）の防災機関等からの資料を基に 2010 年（平成 22 年）6 月 9 日現在で集計。

年	被 害 状 況						
	死者・行方不明 (人)	住家損壊 (棟)	住家浸水 (棟)	被 害 額(億円)			
				農業被害	林業被害	水産業被害	合計
2000年	63	1,755	82,585	433	202	67	703
2001年	110	1,804	12,936	516	208	33	758
2002年	85	2,919	16,194	809	170	85	1,065
2003年	145	3,122	16,151	2,777	204	88	3,071
2004年	327	103,458	172,504	2,963	1,355	597	4,916
2005年	162	7,829	27,199	567	536	61	1,164
2006年	319	19,254	14,729	531	195	356	1,082
2007年	151	2,757	11,273	401	194	55	652
2008年	146	1,677	34,310	98	23	207	329
2009年	208	4,681	21,900	880	117	42	1,040



## 2.3 日本の気温と降水量

日本の気温および降水量についての長期的な変化傾向をみるため、1898年から2009年までの気象庁の観測点における年平均気温の平年差および年降水量の平年比を平均して解析した（1971~2000年の平均値を平年値とする）。気温の解析には、観測データの均質性が長期間維持され、かつ都市化などによる環境の変化が比較的少ない17地点を対象とした。なお、宮崎は2000年5月に、飯田は2002年5月に庁舎を移転したため、移転による観測データへの影響を評価し、その影響を除去するための補正を行ったうえで利用している。降水量の解析には、観測データの均質性が長時間継続している51地点を対象とした（表1.2-4）。

表 1.2-4 日本の年平均気温平年差および年降水量平年比の計算対象地点

要素	地点
地上気温 (17地点)	網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、長野、水戸、飯田、銚子、境、浜田、彦根、 多度津、宮崎、名瀬、石垣島
降水量 (51地点)	旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都、秋田、宮古、山形、石巻、福島、伏木、長野、宇都宮、 福井、高山、松本、前橋、熊谷、水戸、敦賀、岐阜、名古屋、飯田、甲府、津、浜松、東京、 横浜、境、浜田、京都、彦根、下関、呉、神戸、大阪、和歌山、福岡、大分、長崎、熊本、 鹿児島、宮崎、松山、多度津、高知、徳島、名瀬、石垣島、那覇

2009年の日本の年平均気温の平年差は+0.56℃で、1898年の統計開始以来、7番目に高い値となった。気温の変化をみると（図1.2-3）、長期的な傾向として、100年あたりおよそ1.13℃（統計期間：1898~2009年）の割合で上昇している。なお、この解析では都市化の影響が少ない17地点を選んで気温を求めているが、都市化の影響は完全には除去されていない。1940年代までは比較的低温の期間が続いたが、その後上昇に転じ、1960年頃を中心とした高温の時期、それ以降1980年代半ばまでのやや低温の時期を経て、1980年代後半から急速に気温が上昇した。日本の気温が顕著な高温を記録した年は、おおむね1990年以降に集中している。近年、日本で高温となる年が頻出している要因としては、二酸化炭素などの温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化の影響に、数年~数十年程度の時間規模で繰り返される自然変動が重なっているものと考えられる。この傾向は、世界の年平均気温（1.2節参照）と同様であると考えられる。

また、上記51地点による2009年の年降水量の平年比は99%であった。降水量の変化をみると（図1.2-4）、1920年代半ばまでと1950年代頃に多雨期がみられ、1970年代以降は年ごとの変動が大きくなっている。なお、20世紀初頭に比べ、近年の年々変動の大きさは有意に増加している。

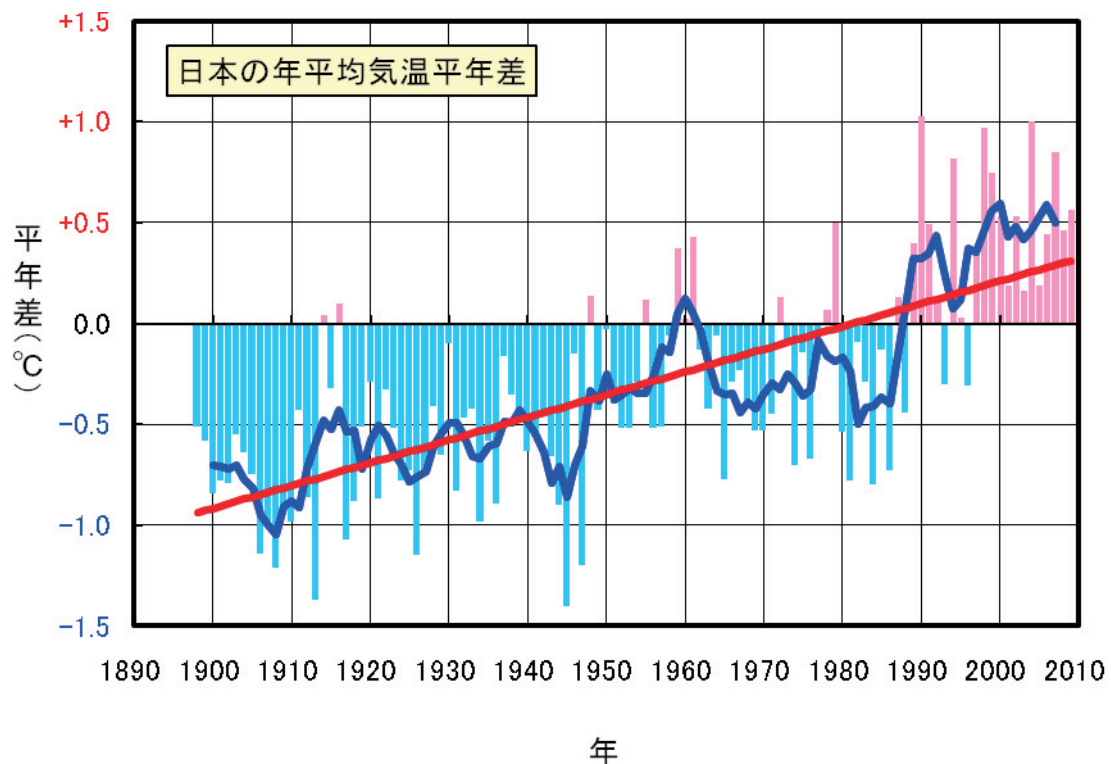


図 1.2-3 日本における年平均気温の経年変化 (1898~2009 年)

棒グラフは、国内 17 地点 (表 1.2-4 参照) での年平均気温の平年差 (平年値との差) を平均した値を示している。太線 (青) は平年差の 5 年移動平均を示し、直線 (赤) は平年差の長期的傾向を直線として表示したものである。平年値は 1971~2000 年の 30 年平均値。

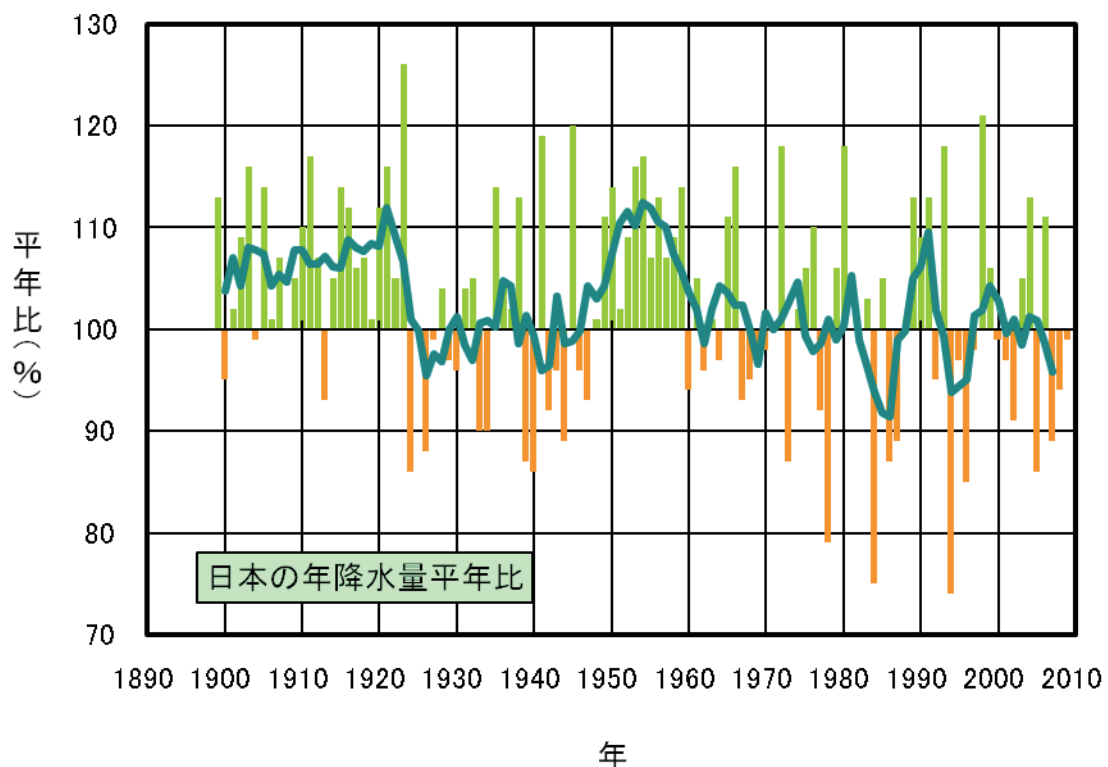


図 1.2-4 日本における年降水量の経年変化 (1898~2009 年)

棒グラフは、国内 51 地点 (表 1.2-4 参照) での年降水量の平年比 (平年値に対する比で、%であらわす) を平均した値を示している。緑線は平年比の 5 年移動平均を示す。平年値は 1971~2000 年の 30 年平均値。

## 2.4 極端現象の長期変化傾向

この節では、月平均気温や月降水量における異常気象の出現数あるいは日降水量や日最高・最低気温が極端な値となる年間日数の長期変化傾向について説明する。用いた観測地点は、基本的には2.3節と同じ気温17地点、降水量51地点であり(表1.2-4参照)、宮崎および飯田の月平均気温は、移転による影響を除去するための補正を行ったうえで利用している。ただし、日最高気温、日最低気温の観測データについては、宮崎、飯田の移転による影響を除去することが困難であるため、2.4.1項の(2)、(3)では宮崎、飯田を除く15地点で解析を行なった。

### 2.4.1 極端な気温の長期変化傾向

#### (1) 月平均気温における異常値の出現数

図1.2-5に、1901～2009年の109年間における異常高温と異常低温の年間出現数の経年変化を示す。また、これらの出現数の長期変化傾向と、20世紀初頭の30年間(1901～1930年)と最近30年間(1980～2009年)で平均した出現数を表1.2-5に示す。

ここでは、異常高温・異常低温を「1901～2009年の109年間で各月における月平均気温の高い方・低い方から1～4位の値」と定義している。ある年の異常高温・異常低温の出現数とは、17地点において異常高温・異常低温と判断された観測値の年間総数を、地点数の総数(欠測値を除く)で割った値で定義され、1地点あたりの平均年間出現数を意味する。なお、ある地点のある月に、月平均気温の高い方あるいは低い方から1～4位の値が出現する割合は、109年間に4回で、つまり27年に1回(約0.037回/年)となり、30年に1回程度とされる「異常気象」の頻度に相当する(「異常気象」の定義は用語一覧を参照)。年間の発生数の期待値(図1.2-5の黒い横破線)は1地点あたり0.037回×12か月=約0.44回である。

1901～2009年における異常高温の出現数は有意に増加している。異常低温の出現数は有意に減少している。これらの特徴は2.3節に示されている年平均気温の上昇傾向と符合している。異常高温の出現数は1980年代以降に増加が顕著となり、20世紀初頭の30年間(1901～1930年)に比べて、最近の30年間(1980～2009年)は約6倍に増えた。一方、異常低温は約3割にまで減少した。

表1.2-5 月平均気温の高いほうから1～4位(異常高温)と低いほうから1～4位(異常低温)の出現数の長期変化傾向と平均出現数

月平均気温で見た異常高温の出現数		
変化傾向	1901-1930年の平均出現数	0.16回
+0.10回/10年(*)	1980-2009年の平均出現数	0.95回
月平均気温で見た異常低温の出現数		
変化傾向	1901-1930年の平均出現数	0.72回
-0.07回/10年(*)	1980-2009年の平均出現数	0.20回

変化傾向は一回帰式より求めた10年間あたりの出現数の変化(傾き)で、1地点あたりの出現数で示した。(\*)は5%未満の危険率で変化傾向が有意であることを示す。また、20世紀最初の30年間と最近の30年間における1地点あたりの異常気象の出現数も合わせて示す。

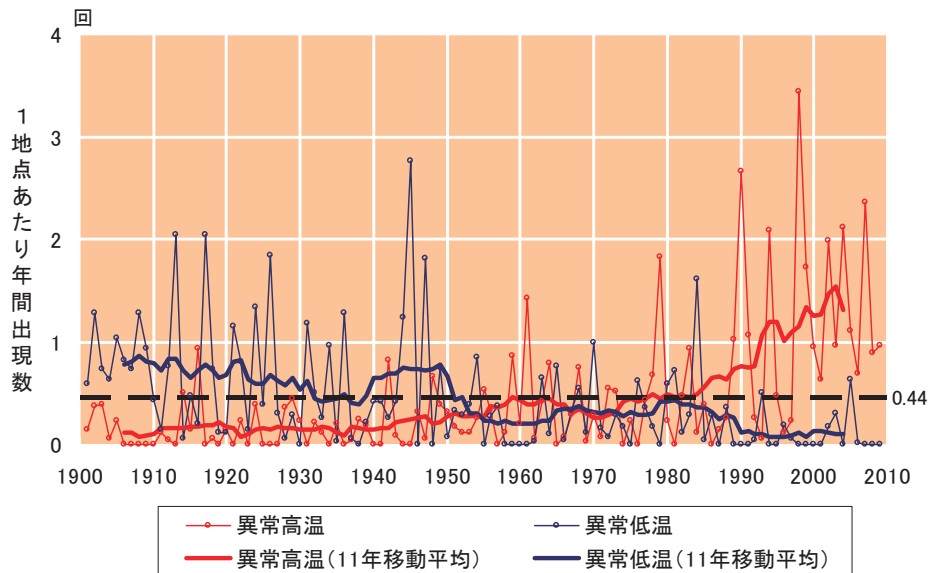


図 1.2-5 月平均気温の高い方から 1~4 位（異常高温）と低い方から 1~4 位（異常低温）の年間出現数の経年変化

1901~2009年の月平均気温の各月における高い方・低い方から 1~4 位の値の年間出現数。年々の値（細い折れ線）はその年の異常高温あるいは異常低温の出現数の合計を有効地点数の合計で割った値で、1 地点あたりの出現数を意味する。太い折れ線は 11 年移動平均値。黒い横破線は異常高温・異常低温の平均的な年間出現数（0.44 回）を示す。

## (2) 日最高気温 30℃以上および 35℃以上の年間日数

日最高気温が 30℃以上（真夏日）と 35℃以上（猛暑日）の年間日数（15 地点の平均）の 1931~2009 年の 79 年間における経年変化を、それぞれ図 1.2-6 と図 1.2-7 に示す。日数は 1 地点あたりの年間日数である。また、これらの日数の長期変化傾向と、最初の 30 年間（1931~1960 年）と最近 30 年間（1980~2009 年）で平均した日数を表 1.2-6 に示す。

真夏日の日数については、1931 年以降では有意な増加傾向はなく、1931~1960 年の 30 年間と最近の 30 年間で平均した日数を比較してもほとんど差がない。しかし、1980 年代以降は増加傾向があり、図 1.2-6 の 11 年移動平均で見ると、近年は、1931 年以降で真夏日の日数が最も多い時期となっている。一方、猛暑日の日数は 1931~2009 年の 79 年間で有意な増加傾向があり、最初の 30 年間と比較すると、最近 30 年間は約 1.6 倍の出現数となっている。猛暑日の日数は 1980 年代後半以降に増加しており、特に 1990 年代半ば以降は 1 地点あたり 2 日を超える年がそれ以前に比べて多くなっている。

表 1.2-6 日最高気温 30℃以上および 35℃以上の年間日数の長期変化傾向と平均日数

日最高気温 30℃以上の日数(真夏日)		
変化傾向 +0.15 日/10 年	1931-1960 年の平均日数	36.5 日
	1980-2009 年の平均日数	36.6 日
日最高気温 35℃以上の日数(猛暑日)		
変化傾向 +0.13 日/10 年(*)	1931-1960 年の平均日数	1.0 日
	1980-2009 年の平均日数	1.6 日

表の見方は表 1.2-5 と同じ。ただし、変化傾向は一次回帰式より求めた 10 年間あたりの日数の変化（傾き）で、1 地点あたりの数で示した。また、最初の 30 年間の平均日数と最近の 30 年間の平均日数も合わせて示す。

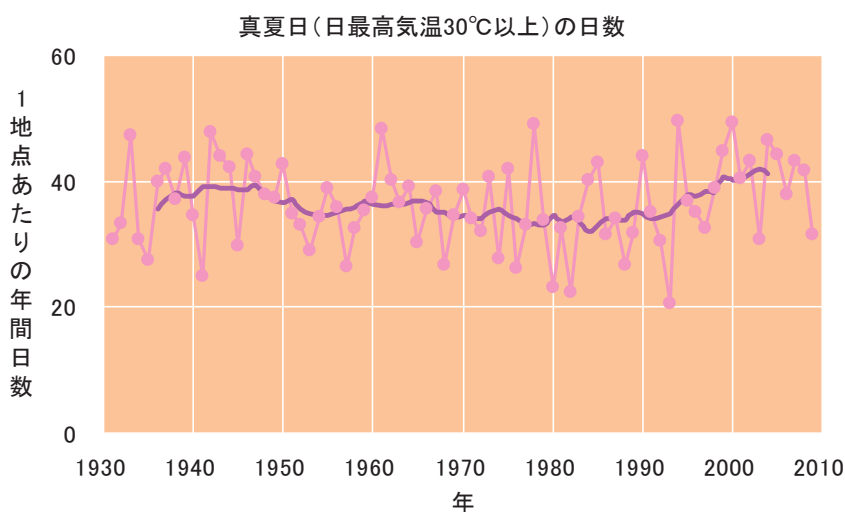


図 1.2-6 日最高気温 30℃以上の年間日数の経年変化

1 地点あたりの年間日数。細線は年々の値を、太線は 11 年移動平均値を示す。

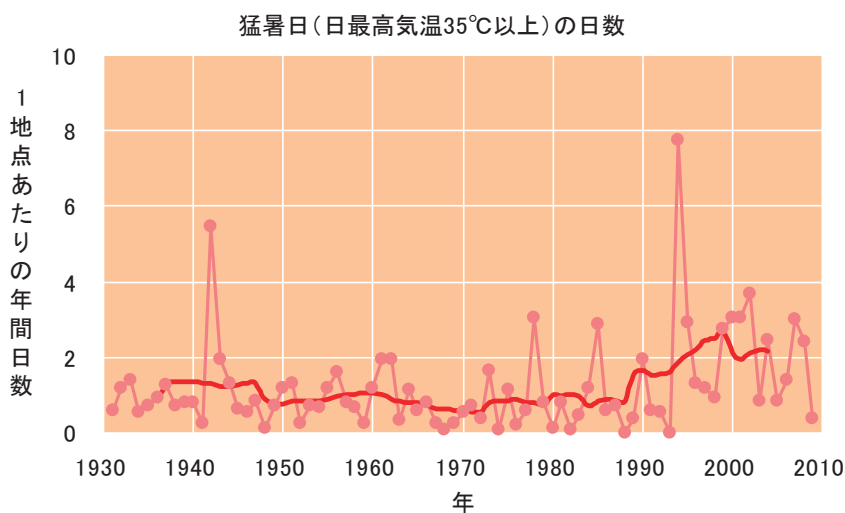


図 1.2-7 日最高気温 35℃以上の年間日数の経年変化

図の見方は図 1.2-6 と同様。

(3) 日最低気温 0°C未満および 25°C以上の年間日数

日最低気温が 0°C未満 (冬日) と 25°C以上 (熱帯夜<sup>3</sup>) の年間日数 (15 地点の平均) の 1931~2009 年の 79 年間における経年変化を、それぞれ図 1.2-8 と図 1.2-9 に示す。日数は 1 地点あたりの年間日数である。また、これらの日数の長期変化傾向と、最初の 30 年間 (1931~1960 年) と最近 30 年間 (1980~2009 年) で平均した日数を表 1.2-7 に示す。

冬日の日数は有意に減少しており、最近の 30 年間は最初の 30 年間と比べて約 14%少なくなっている。一方、熱帯夜の日数は有意に増加しており、最近の 30 年間は最初の 30 年間の約 1.6 倍の出現頻度となっている。

表 1.2-7 日最低気温 0°C未満および 25°C以上の年間日数の長期変化傾向と平均日数

日最低気温 0°C未満の日数(冬日)		
変化傾向	1931-1960 年の平均日数	69.8 日
-2.33 日/10 年(*)	1980-2009 年の平均日数	60.0 日
日最低気温 25°C以上の日数(熱帯夜)		
変化傾向	1931-1960 年の平均日数	11.0 日
+1.28 日/10 年(*)	1980-2009 年の平均日数	17.1 日

表の見方は表 1.2-6 と同じ。

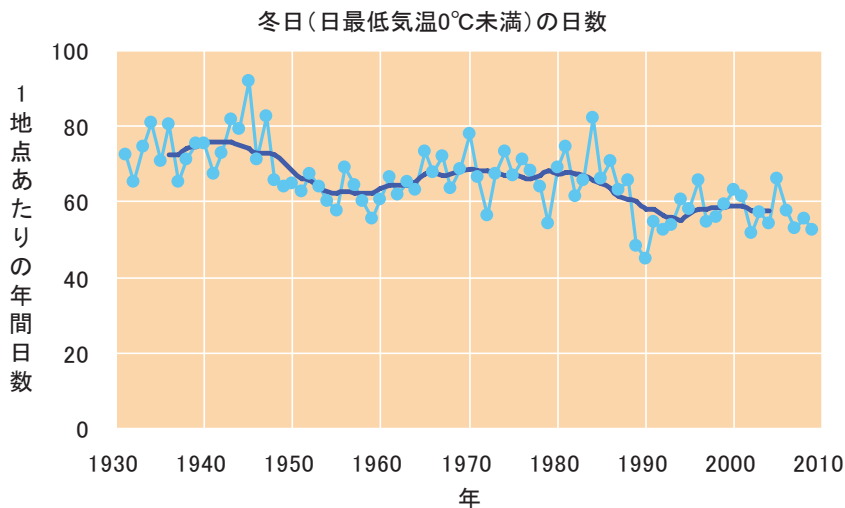


図 1.2-8 日最低気温 0°C未満の年間日数の経年変化

図の見方は図 1.2-6 と同様。

<sup>3</sup> ここでは日最低気温が 25°C以上の日を便宜的に「熱帯夜」と呼んでいる。

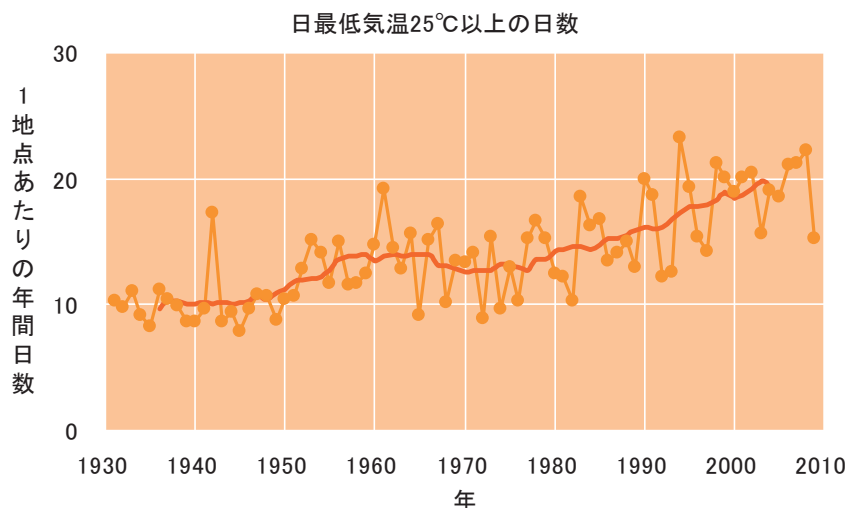


図 1.2-9 日最低気温 25℃以上の年間日数の経年変化

図の見方は図 1.2-6 と同様。

## 2.4.2 極端な大雨などの長期変化傾向

### (1) 月降水量の異常値

図 1.2-10 に、1901～2009 年の 109 年間における異常多雨と異常少雨の出現数（51 地点の平均）の経年変化を示す。また、これらの出現数の長期変化傾向と、20 世紀初頭の 30 年間（1901～1930 年）と最近 30 年間（1980～2009 年）で平均した出現数を表 1.2-8 に示す。異常多雨・異常少雨の定義は、異常高温・異常低温と同様で、「1901～2009 年の 109 年間で各月における月降水量の多い方・少ない方から 1～4 位の値」である。

月降水量における異常少雨の年間出現数は有意に増加していて、20 世紀初頭の 30 年間に比べて、最近の 30 年間（1980～2009 年）は約 1.6 倍に増えた。異常多雨については長期的に有意な傾向はない。また、1980 年代頃までは数十年スケールの変動が見られ、異常少雨の出現数が多い時期には異常多雨の出現数が少ない（あるいはその逆）といった傾向があった。

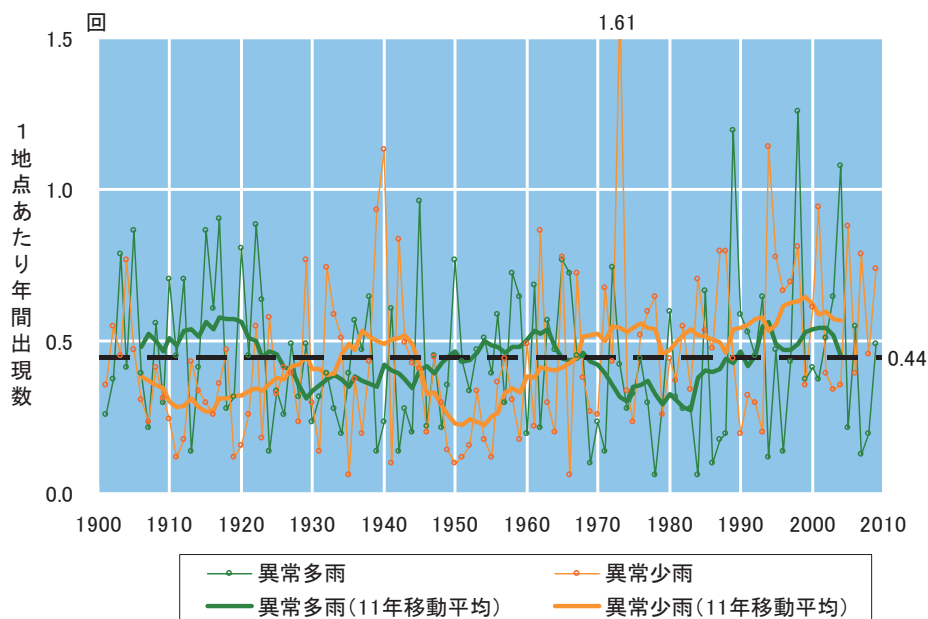


図 1.2-10 月降水量の多い方から1~4位(異常多雨)と少ない方から1~4位(異常少雨)の年間出現数の経年変化

図の見方は図 1.2-5 と同様。ただし、月降水量による図。

表 1.2-8 月降水量の多いほうから1~4位(異常多雨)と少ないほうから1~4位(異常少雨)の出現数の長期変化傾向と平均出現数

月降水量で見た異常多雨の出現数		
変化傾向	1901-1930年の平均出現数	0.48回
0.00回/10年	1980-2009年の平均出現数	0.45回
月降水量で見た異常少雨の出現数		
変化傾向	1901-1930年の平均出現数	0.36回
+0.02回/10年(*)	1980-2009年の平均出現数	0.56回

表の見方は表 1.2-5 と同じ。

(2) 日降水量 100mm 以上、200mm 以上の年間日数

日降水量 100mm 以上および 200mm 以上の年間日数 (51 地点の平均) の 1901~2009 年の 109 年間における経年変化を、それぞれ図 1.2-11 および図 1.2-12 に示す。1 地点あたりの出現日数で示している。また、これらの日数の長期変化傾向と、20 世紀初頭の 30 年間 (1901~1930 年) と最近 30 年間 (1980~2009 年) で平均した日数を表 1.2-9 に示す。日降水量 100mm 以上の日数は 109 年間で有意な増加傾向があるが、日降水量 200mm 以上の日数は有意な傾向はない。最近 30 年間と 20 世紀初頭の 30 年間を比較すると 100mm 以上日数は約 1.2 倍の出現頻度となっている。



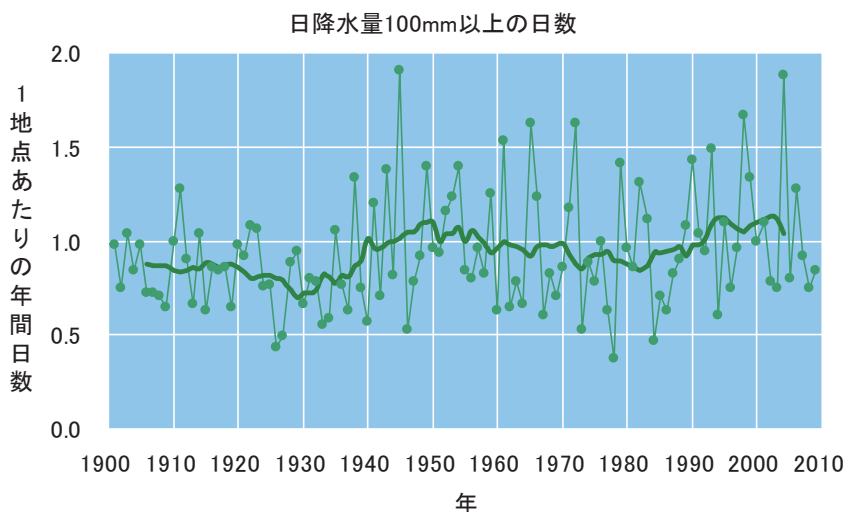


図 1.2-11 日降水量 100mm 以上の年間日数の経年変化

図の見方は図 1.2-6 と同様。

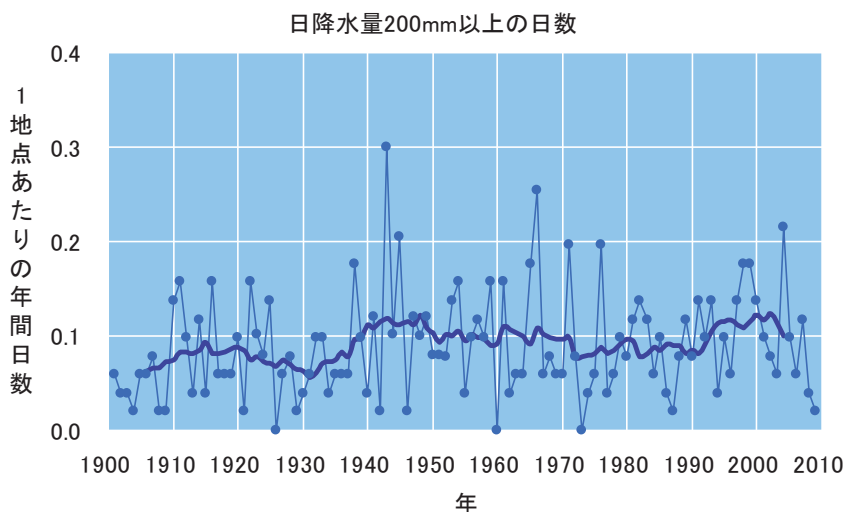


図 1.2-12 日降水量 200mm 以上の年間日数の経年変化

図の見方は図 1.2-6 と同様。

表 1.2-9 日降水量 100mm 以上および 200mm 以上の年間日数の長期変化傾向と平均日数

日降水量 100mm 以上の日数		
変化傾向	1901-1930 年の平均日数	0.84 日
+0.02 日/10 年(*)	1980-2009 年の平均日数	1.01 日
日降水量 200mm 以上の日数		
変化傾向	1901-1930 年の平均日数	0.07 日
0.00 日/10 年	1980-2009 年の平均日数	0.10 日

表の見方は表 1.2-6 と同じ。

## 【コラム】アメダスでみた大雨発生回数の長期変化

気象庁では、全国約 1,300 箇所の地域気象観測所（アメダス）において、毎時の降水量の観測を行っている。地点により観測開始年は異なるものの、多くの地点では 1970 年代後半に観測を始めている。したがって、約 1,300 もの地点における 30 年を越えるデータが利用可能となっている。気象台や測候所では約 100 年間の観測データがあるのと比べるとアメダスの 30 年間は短い。アメダスの地点数は気象台や測候所の約 9 倍あるので、局地的な大雨などは比較的よく捉えることができる。

ここでは、アメダスが観測した 1 時間降水量 50mm 及び 80mm 以上の短時間強雨の発生回数、そして日降水量 200mm 及び 400mm 以上の大雨の発生回数を年ごとに集計し、ここ 30 年余りの長期的な変化傾向をみた。なお、アメダスの地点数は、1976 年当初は約 1,100 地点であるが、1979 年には約 1,300 地点に増え現在にいたっている。そこで、年による地点数の違いの影響を避けるため、年ごとの発生回数を 1,000 地点あたりの回数に換算し比較することにした。

短時間強雨の発生回数の変化を図 1.2-13 に、大雨の発生回数の変化を図 1.2-14 に示した。連続する 11 年ないし 12 年の 3 つの平均（グラフ中、赤色の線で表示した値）は少しずつ増加してきており、アメダスデータを使って集計した短時間強雨や大雨の発生回数は、ここ 30 年間余りで増加傾向があることがわかる。ただし長期トレンドについては、1 時間降水量 50mm 以上の発生回数では統計的な有意性が認められたが、1 時間降水量 80mm 以上、日降水量 200mm 及び 400mm 以上の発生回数では認められなかった。大雨や短時間強雨の発生回数は年ごとの変動が大きく、それに対してアメダスの観測期間は比較的短いことから、長期変化を確実に捉えるためには今後のデータの蓄積が必要である。

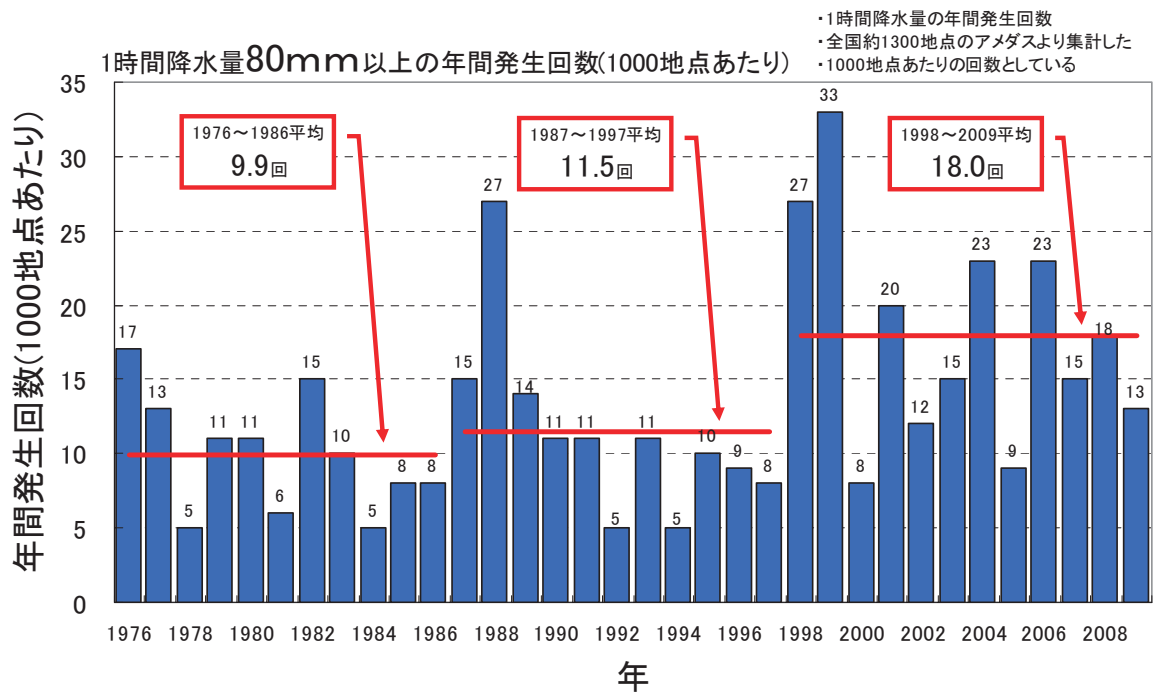
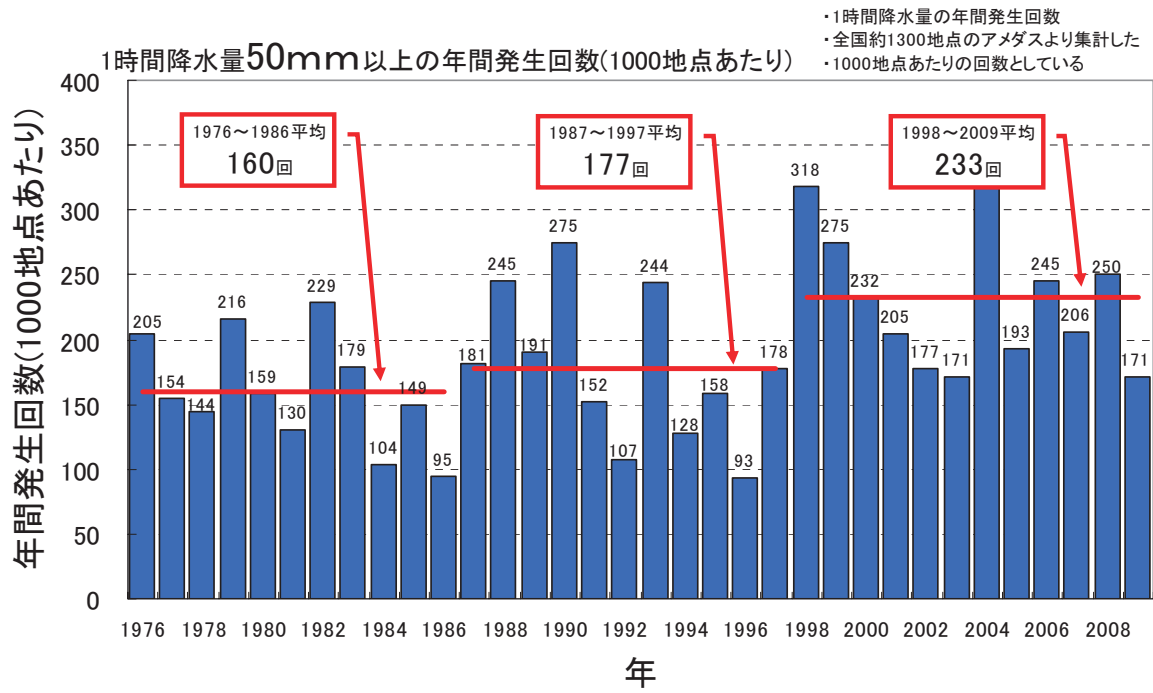


図 1.2-13 アメダス地点で1時間降水量が50mm、80mm以上となった年間の回数(1,000地点あたりの回数に換算)。

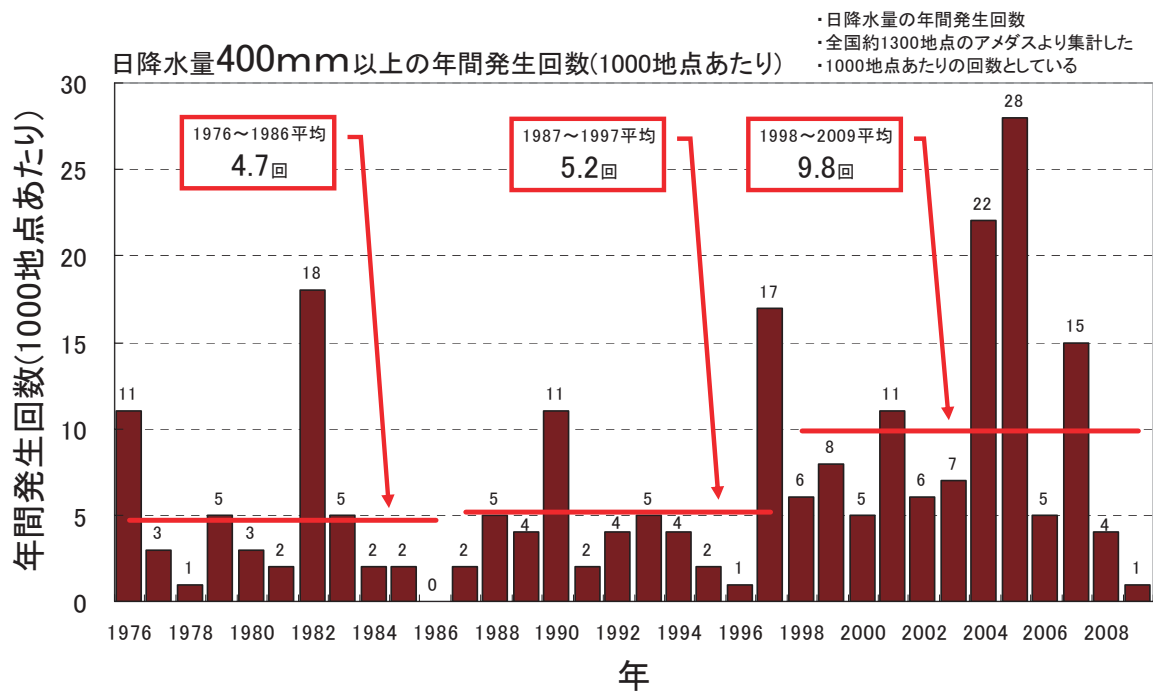
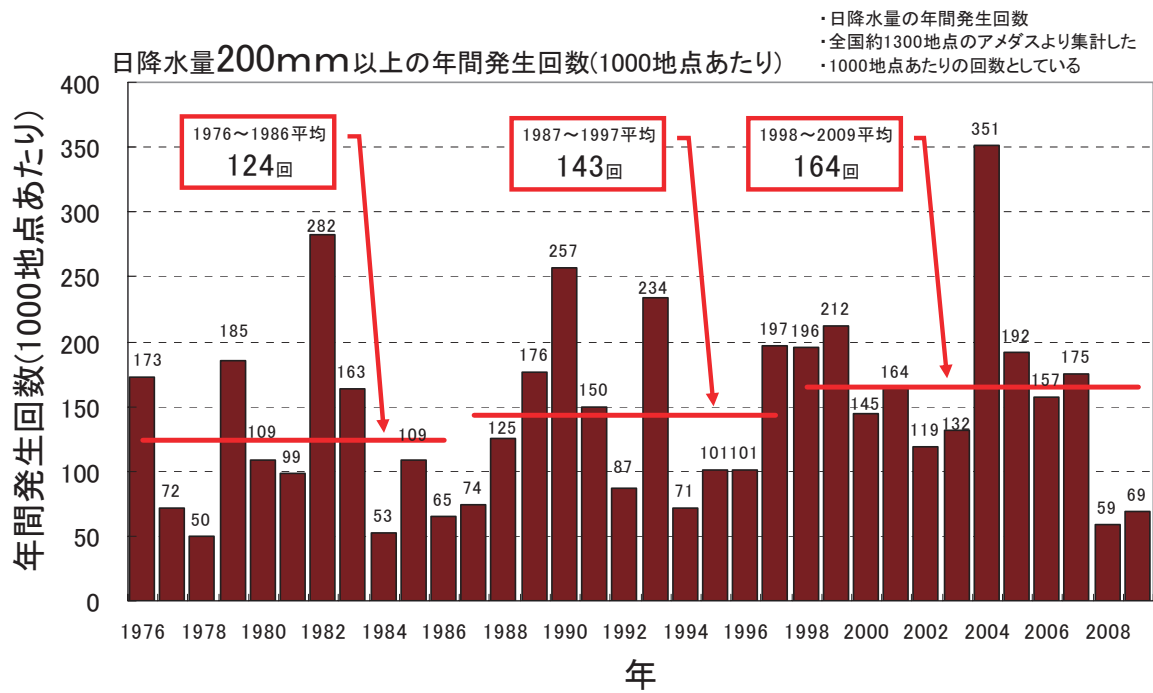


図 1.2-14 アメダス地点で日降水量が 200mm、400mm 以上となった年間の回数 (1,000 地点あたりの回数に換算)。

## 【コラム】各地における最近約30年の気温の顕著現象等の変化傾向

日本各地の気温には、15地点の平均で見た猛暑日の増加や冬日の減少などの“高温化”の傾向が現れており、とりわけ最近約30年間はその傾向が顕著である。こうした傾向がどのような地域分布であるかを見るため、1979年～2009年の31年間のアメダス気温データを調査した。使用データは、時系列の均質性を確保するため31年間観測を継続しており、かつ移転等が全くない全国402地点のものである。図1.2-15(a)～(e)に、トレンドを10年あたりの変化量（各図下の色スケール）として示し、危険率5%において有意な場合は実四角、有意ではない場合は白や黄色などの枠の中ぬき四角で示す。

年平均気温の31年間の変化傾向は、全国ほとんどの地点で有意な上昇傾向となっており（10年あたり0.3～0.6℃程度の上昇）、東京～埼玉、瀬戸内海周辺、九州北部では上昇傾向が顕著になっている（図1.2-15(a)）。

真夏日（日最高気温30℃以上）の年間日数の変化傾向（図1.2-15(b)）をみると、そもそも真夏日となりにくい北日本を除くと、10年あたり2～12日程度有意に増加しており、西日本以西で増加傾向が顕著になっている。猛暑日（日最高気温35℃以上）日数の変化傾向（図1.2-15(c)）では、東京～埼玉、濃尾平野、九州北部では増加傾向が顕著（10年あたり2～4日程度の増加）になっている。熱帯夜（日最低気温25℃以上）の変化傾向（図1.2-15(d)）についても、瀬戸内海周辺、九州北部、沖縄・奄美では、増加傾向が顕著となっている。

一方、冬日（日最低気温0℃未満）日数の変化傾向（図1.2-15(e)）をみると、全国的に減少傾向だが、有意な傾向が見られない地点が多数ある。沖縄・奄美についてはそもそも冬日になることがないためであるが、それ以外の地域については、主に、年々変動に比べ変化傾向が小さいためである。東京周辺、九州北部は減少傾向が顕著になっている。

九州北部や瀬戸内海周辺において複数の顕著現象指標で“高温化”が顕著になっていることについては、地球温暖化の影響に、都市化や自然変動などの影響が重なっていると考えられるが、それぞれの影響の度合いを明瞭に評価するのは困難である。東京～埼玉、濃尾平野といった都市部では、猛暑日日数が増大している。なお、都市化の影響については「2.6 日本の都市のヒートアイランド現象」で多少触れるが、猛暑日の増加に及ぼす影響については今後の調査課題である。

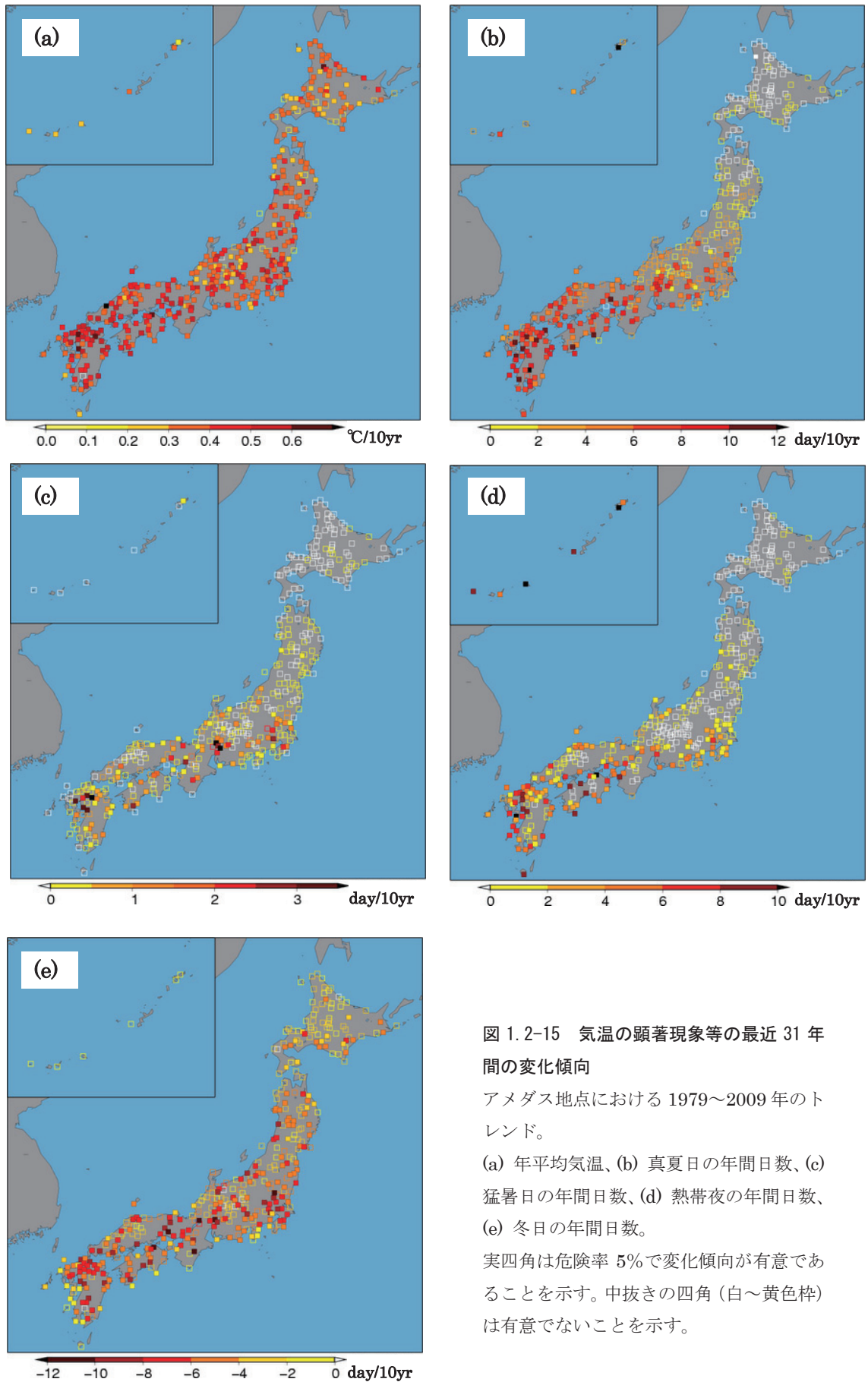


図 1.2-15 気温の顕著現象等の最近 31 年間の変化傾向

アメダス地点における 1979～2009 年のトレンド。

(a) 年平均気温、(b) 真夏日の年間日数、(c) 猛暑日の年間日数、(d) 熱帯夜の年間日数、(e) 冬日の年間日数。

実四角は危険率 5%で変化傾向が有意であることを示す。中抜き四角 (白～黄色枠) は有意でないことを示す。

## 2.5 台風

熱帯または亜熱帯地方で発生する低気圧を熱帯低気圧といい、そのうち北西太平洋に存在し最大風速（10 分間の平均風速）がおおよそ 17m/s 以上のものを日本では「台風」と呼んでいる。また、台風の中心付近の最大風速により、勢力を「強い」（33m/s 以上 44m/s 未満）、「非常に強い」（44m/s 以上 54m/s 未満）、「猛烈な」（54m/s 以上）と区分している。

2009 年の台風の発生数は 22 個（平年 26.7 個）、日本への接近数は 8 個（同 10.8 個）、日本への上陸数は 1 個（同 2.6 個）であった。なお、平年は 1971～2000 年の平均値である（「接近」および「上陸」の定義は用語一覧参照）。

図 1.2-16 に 2009 年の台風の経路を示す。2009 年は北日本と東日本に接近する台風が平年値を上回るか同程度である一方、西日本と沖縄・奄美で平年値を下回っており、特に沖縄・奄美では接近数が 3 個（平年値 7.2 個）と少なくなった。これは太平洋高気圧の日本付近への張り出しが弱いことが一因となり、北上する台風の多くが日本の南もしくは東を通ったためである。台風による被害の状況は、1.1 節、2.2 節を参照。

1951 年から 2009 年までの台風の発生数、日本（小笠原、沖縄・奄美を含む）への接近数および上陸数を図 1.2-17 に示す。台風の発生数、接近数、上陸数は年々の変動が大きく、5 年移動平均値で見ても長期的な傾向ははっきりしない。ただし、最近の数年は、発生数が平年値を下回る年がほとんどとなっている。

また、台風の中心付近の最大風速データが揃っている 1977 年以降について、「強い」以上の勢力となった台風の数と台風の全発生数に対する割合を図 1.2-18 に示す。図 1.2-18 から、「強い」以上の台風の発生数はおおむね 10 個から 20 個の間で変動し、増減いずれかに偏る傾向はない。発生割合もおおむね 40%から 60%の間で変動している。

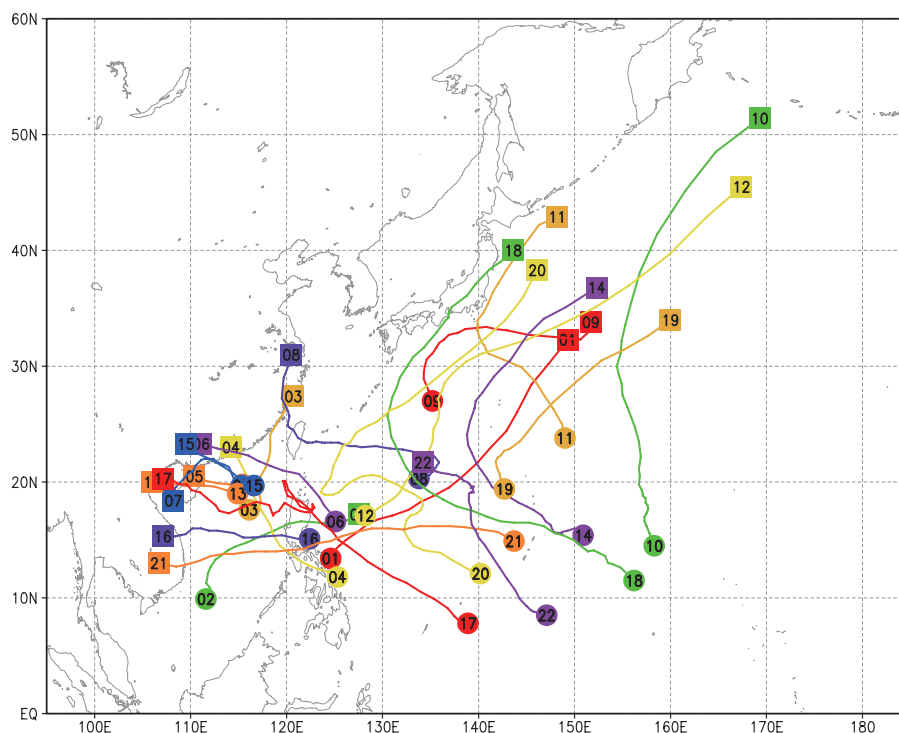


図 1.2-16 台風経路図（2009 年）

実線が台風の経路を表す。図中の数字は台風番号をあらわし、数字のついた丸が台風の発生位置、数字のついた四角は台風が消滅した位置である。

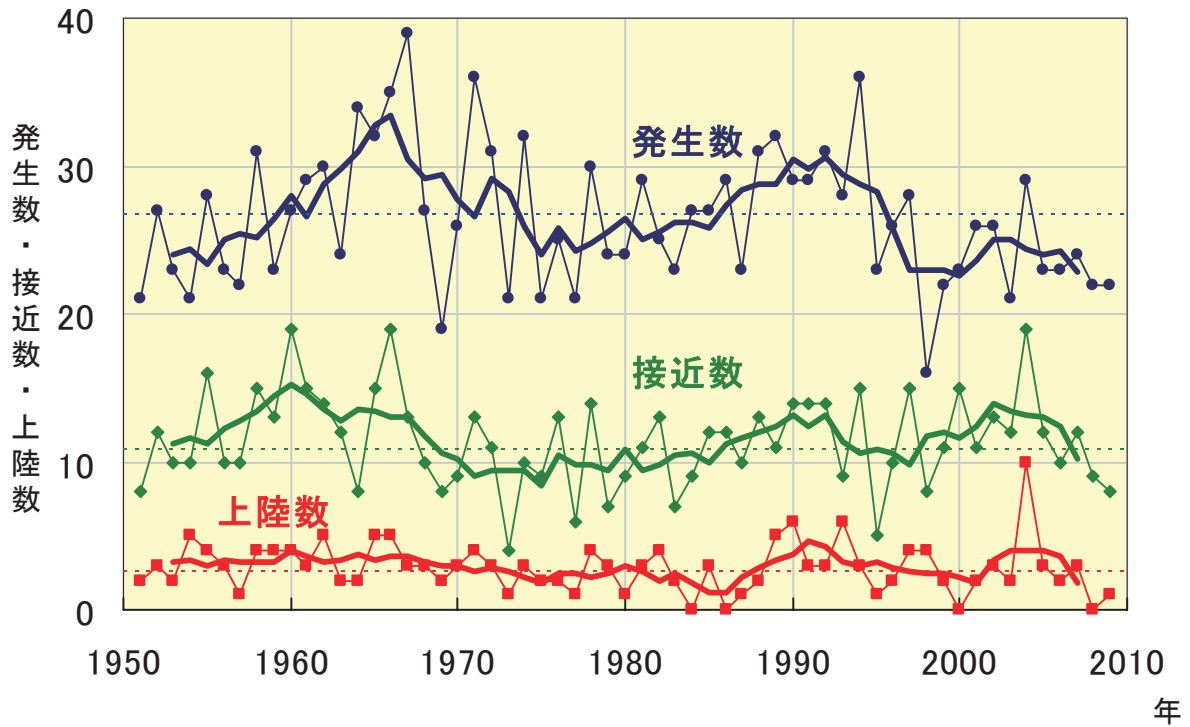


図 1.2-17 台風の発生数、日本への接近数および上陸数の経年変化  
 細い実線は、台風の発生数（青）、日本（小笠原、沖縄・奄美含む）への接近数（緑）および上陸数（赤）の経年変化。太い実線は、それぞれの5年移動平均。細い破線はそれぞれの平年値（1971～2000年の平均値）。

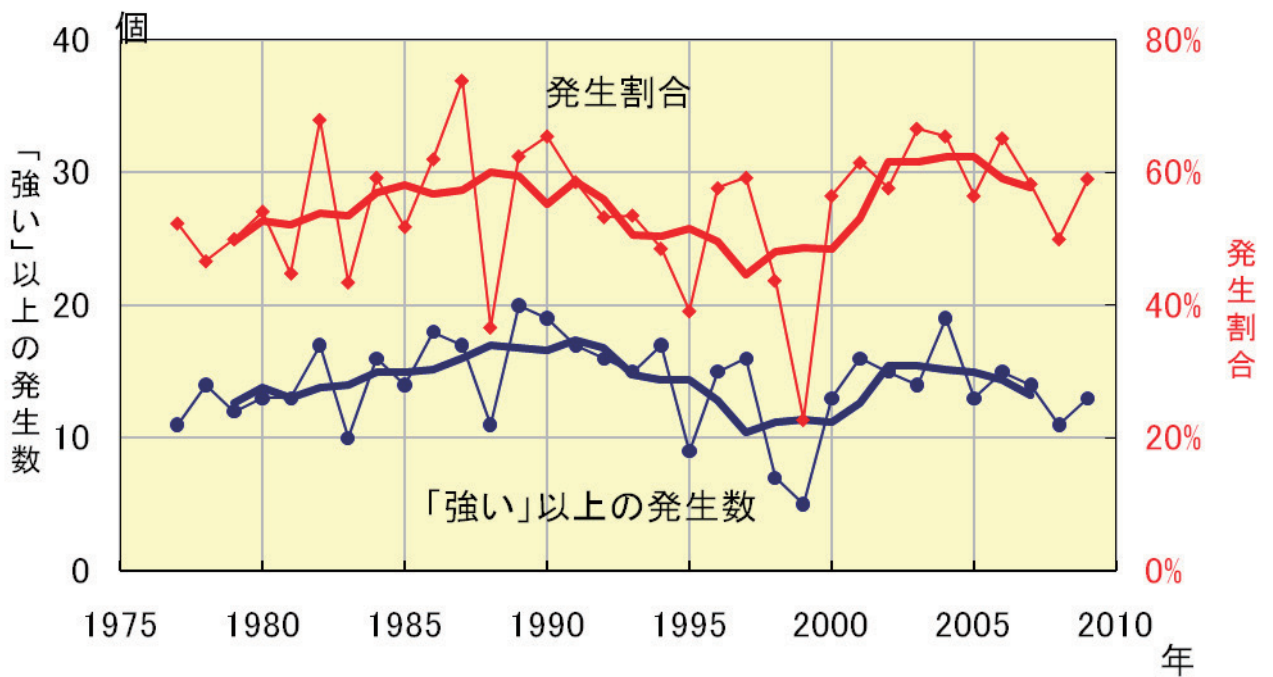


図 1.2-18 「強い」以上の勢力となった台風の数と全発生数に対する割合の経年変化  
 細線は、「強い」以上の勢力となった台風の数（青）と全発生数に対する割合（赤）の経年変化。太線は、それぞれの5年移動平均。



## 2.6 日本の都市のヒートアイランド現象

気象庁では、ヒートアイランド対策の検討に資するため、ヒートアイランドの実態やメカニズムの解明に取り組んでいる。ここでは、日本の都市における気温等の経年変化と 2009 年の実況について解説する。

表 1.2-10 に日本の 9 つの都市(以下、大都市)と都市化の影響の少ない中小都市 17 地点(表 1.2-4) 平均の気温(年、1 月、8 月平均、日最高気温、日最低気温)と階級別日数(熱帯夜(日最低気温が 25℃以上の日)と冬日(日最低気温が 0℃未満の日)の年間日数)の変化量および 2009 年の大都市の熱帯夜と冬日の年間日数と平年差を示す。

気温の経年変化については、大都市の上昇量は、中小都市に比べ大きな値となっている。中小都市平均の気温の上昇量は日本全体としての平均的な上昇量をあらわしていることから、およその見積もりとして、各都市と中小都市平均の上昇量の差が、各都市におけるヒートアイランド現象による上昇分とみられる(中小都市も都市化の影響を多少は受けており、厳密にはこの影響を考慮しなければならない)。1 月の平均気温の上昇量は、8 月に比べ大きい。また、日最低気温の上昇量は、日最高気温の上昇量より大きい。ヒートアイランド現象にともなう郊外との気温差は、夏季より冬季に、日中より夜間に大きいといわれており、この効果が顕著にあらわれているものと考えられる。

階級別日数の経年変化については、熱帯夜の年間日数は、札幌と仙台を除き顕著な増加傾向を示している。また、冬日の年間日数は、全般に減少傾向である。大都市におけるこれら日数の増加(減少)には、地球温暖化の影響を無視することはできないものの、ヒートアイランド現象の影響が大きいと考えられる。

2009 年の夏季は太平洋高気圧の日本付近への張り出しが弱かったため、熱帯夜の年間日数は、鹿児島が 53 日で平年より 17.2 日多かった他は、ほぼ平年と同じか平年より少なく、新潟は 0 日(平年 8.4 日)であった。冬季は寒気の南下が少なかったため、冬日の年間日数は、平年より 10 日以上少なかった都市が多く、東京、大阪、鹿児島では 0 日(それぞれ平年 10.2 日、10.1 日、9.7 日)、名古屋は 15 日で平年より 20.6 日少なかった。

表 1.2-10 大都市における気温と階級別日数の変化量、2009 年の熱帯夜と冬日の年間日数

変化量については 1931 年から 2009 年までの観測値から算出した値を示し、都市化の影響の少ない 17 地点(表 1.2-4 参照) の平均変化量をあわせて表示した。斜体字は統計的に有意な変化傾向がないことを意味する。※を付した地点は、統計期間内に庁舎の移転があったため、気温の変化量については移転に伴う影響を補正してから算出し<sup>4</sup>、階級別日数の変化量については累年の統計が行えないため表示しない。★印の中小都市は、気温の変化量については飯田・宮崎の移転に伴う影響を補正した 17 地点の平均であり、階級別日数の変化量については、飯田・宮崎を除いた 15 地点の平均である。2009 年の日数の括弧内の数字は平年との差を示す。

都 市	気温					年間の階級別日数			
	変化量 (°C/100 年)					変化量 (日/10 年)		2009 年 (日)	
	平均気温			日最高 気温	日最低 気温	熱帯夜	冬日	熱帯夜 (平年差)	冬日 (平年差)
	年	1 月	8 月						
札 幌	2.6	3.8	<i>1.0</i>	0.8	4.5	<i>0.0</i>	-4.9	0(-0.1)	119(-10.8)
仙 台	2.3	3.2	<i>0.3</i>	0.9	3.1	0.2	-6.4	0(-0.8)	61(-15.7)
東 京	3.3	4.8	1.5	1.4	4.6	3.4	-8.8	20(-3.1)	0(-10.2)
新 潟※	2.1	2.8	1.2	1.9	2.3	---	---	0(-8.4)	26(-17.4)
名 古 屋	2.9	3.4	2.2	1.0	4.1	3.3	-7.7	13(+0.2)	15(-20.6)
大 阪※	2.9	2.7	2.4	2.3	3.9	---	---	27(-4.5)	0(-10.1)
広 島※	2.1	2.2	1.4	1.0	3.2	---	---	16(-0.8)	8(-16.0)
福 岡	3.2	3.3	2.3	1.6	5.2	4.6	-5.6	22(-4.8)	1(-5.8)
鹿 児 島※	3.0	3.4	2.6	1.4	4.3	---	---	53(+17.2)	0(-9.7)
中小都市★	1.5	1.9	<i>0.7</i>	0.9	1.8	1.3	-2.3	---	---

<sup>4</sup> 2000 年の平年値作成の際に移転の影響を取り除くために行われた補正方法(主成分分析による方法(気象観測統計指針(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/kaisetu/index.html> 参照)))に基づいて補正を行った。

## 第2部 海洋

地球環境や気候を考える際、地球表面の7割を占め熱容量の大きい海洋の存在は大きく、海洋は大気の変動に大きな影響を与えている。さらに、人間の社会経済活動の拡大にともなって海洋環境の広域かつ長期的な汚染が懸念されているなど、海洋は地球環境問題に深く関わっている。

気象庁では、海洋の動向を監視するために、海洋観測を実施するとともに、世界中から観測データを収集し、解析している。海洋気象観測船、商船や漁船、海洋気象観測ブイ、中層フロート、気象衛星で観測したデータを収集し、エルニーニョ現象や黒潮大蛇行など海水温や海流の動向を、海洋の数値モデルなどを用いて解析し監視している。また、海洋汚染の状況についても海洋気象観測船で定期的に観測を行って監視している。第2部では、これらの海洋の動向について、2009年の監視結果を示す。なお、詳細及び2010年以降の監視状況は、「海洋の健康診断表」

(<http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/shindan/index.html>) で提供している。

### 第1章 世界の海洋

#### 1.1 世界の海面水温

世界全体の年平均海面水温平年差（1971年～2000年の平均値からの差）は、長期的には100年あたり0.50℃（統計期間：1891～2009年）の割合で上昇している（図2.1-1）。2009年の平年差は+0.23℃で、1891年以降では2番目に高い値となった。

図2.1-2に、2009年2月、5月、8月、11月の世界の海面水温の平年との差を示す。

北太平洋では、2月は熱帯域西部から北緯40度帯は正偏差だった。一方、熱帯域東部で顕著な負偏差が見られたが、次第に縮小して5月から8月の北緯40度以南は概ね正偏差となった。また、アリューシャン列島付近の負偏差は次第に強まり、東部で11月に北緯20度付近まで広がった。

太平洋赤道域では、2月には中部から東部にかけて負偏差が見られたが、5月にはほぼ全域で正偏差となった。8月には正偏差が強まり、11月には中部から東部にかけて+1℃を超える正偏差が見られた。

南太平洋では、2月は南緯30度付近に顕著な正偏差が見られたが8月にかけて次第に偏差が小さくなった。11月は西経150度付近に顕著な正偏差が見られたほかは、概ね負偏差となった。

インド洋では、2月に東部で負偏差が見られた以外、全般に正偏差だった。

北大西洋では、2月から5月に熱帯域で負偏差が見られたがその後は解消し、北緯30度付近の正偏差が熱帯域まで広がった。5月から11月は北緯50度付近に顕著な負偏差が見られた。

南大西洋では、熱帯域は概ね正偏差で、11月にはブラジル沖を中心に顕著な正偏差が見られた。

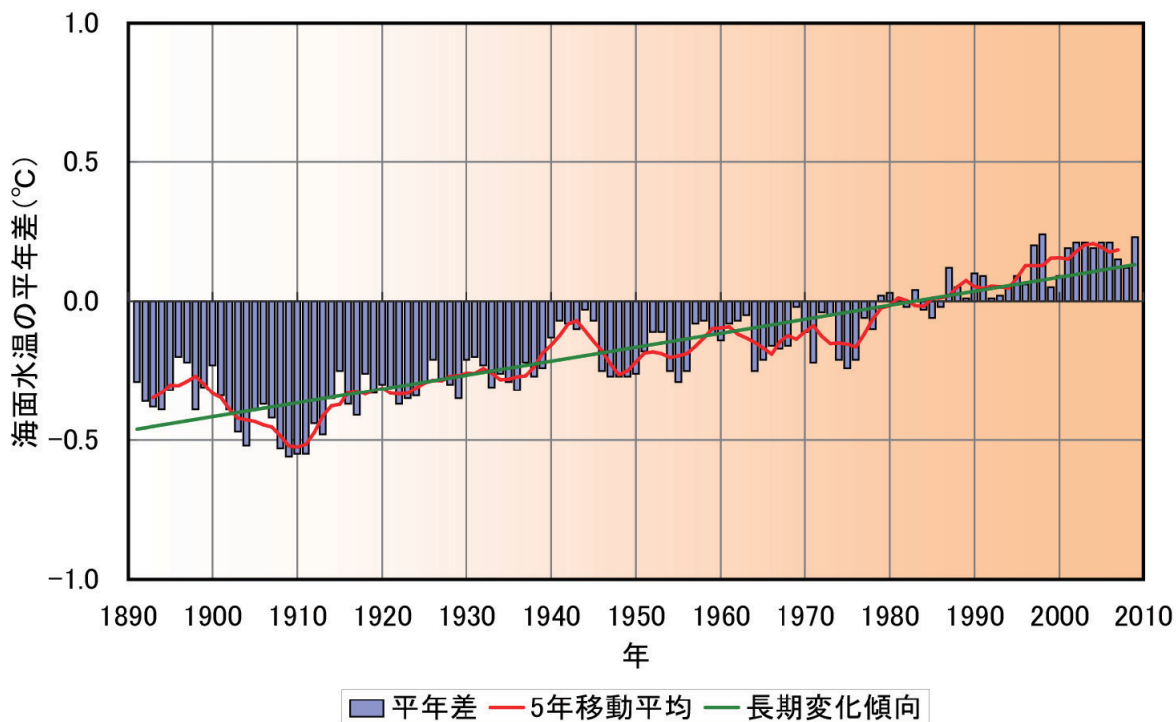
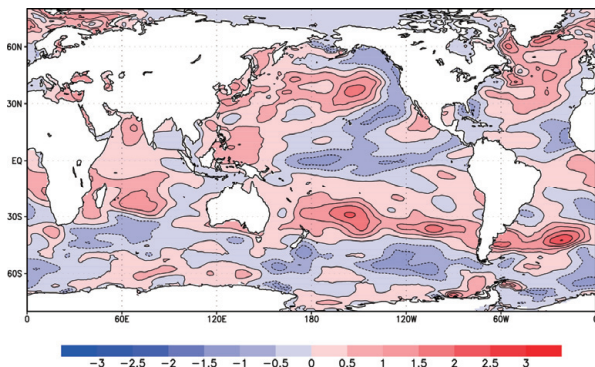
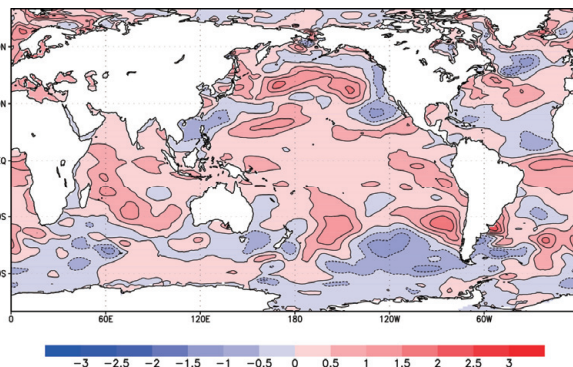


図 2.1-1 世界全体の年平均海面水温平年差の経年変化 (1891~2009 年)  
棒グラフ (薄い青) は年々の値、曲線 (赤) は 5 年移動平均値、直線 (緑) は長期変化傾向をあらわす。平年値の期間は 1971~2000 年。

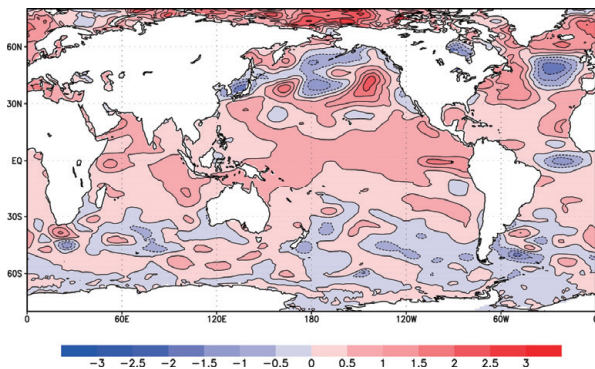
(a) 2009 年 2 月



(b) 2009 年 5 月



(c) 2009 年 8 月



(d) 2009 年 11 月

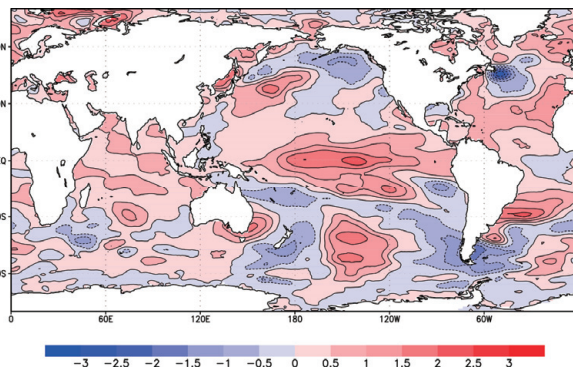


図 2.1-2 世界の海洋の月平均海面水温偏差 (°C)  
平年値の期間は 1971 年~2000 年。

## 1.2 エルニーニョ／ラニーニャ現象

エルニーニョ現象は、太平洋赤道域の中央部から南米ペルー沿岸にかけての広い海域で海面水温が平年より高い状態が半年から一年半程度続く現象である。逆に同じ海域で海面水温が平年より低い状態が続く現象はラニーニャ現象と呼ばれる。

エルニーニョ／ラニーニャ現象は、太平洋の赤道付近で吹いている貿易風と呼ばれる持続的な東風と密接な関係がある。貿易風は、エルニーニョ現象時には弱く、ラニーニャ現象時には強い傾向が見られる。貿易風の強さを決める要因は太平洋の東部と西部の間の海面気圧の差だが、この気圧差は大小を交互に繰り返しており、これを南方振動という。エルニーニョ／ラニーニャ現象と南方振動は、それぞれが独立に起きているのではなく、実は大気と海洋が相互に影響を及ぼしあっている一つの現象の異なった側面であり、これらを総合的に捉えて「エルニーニョ・南方振動 (El Niño - Southern Oscillation)」、略して「エンソ (ENSO)」という。

太平洋赤道域の中部から東部にかけての海面水温の変化に先立って、海面下（海洋内部）の水温構造に大きな変化が見られることから、その変化の把握がエルニーニョ／ラニーニャ現象の監視には重要である。

図 2.1-3 (a) に示すエルニーニョ監視海域（北緯 5 度～南緯 5 度、西経 150 度～西経 90 度）で平均した月平均海面水温の基準値（その年の前年までの 30 年間の各月の平均値）との差の時間変化が図 2.1-3 (b) である。2008 年春にラニーニャ現象が終息したあと、2008 年 12 月～2009 年 3 月は基準値よりもやや低い値となったが、その後は基準値を上回る状態が続き、11 月と 12 月は基準値より 1℃以上高くなった。基準値との差の 5 か月移動平均も 2009 年 6 月以降は 0.5℃以上の値が続き、2009 年夏以降はエルニーニョ現象が発生していた。

図 2.1-3 (c) は、南太平洋のタヒチ (TAHITI) とオーストラリアのダーウィン (DARWIN) の海面気圧偏差の差を指数化した南方振動指数の時間変化である。南方振動指数は、一般にエルニーニョ現象時には負、ラニーニャ現象時には正の値を示す。2009 年は、4 月まで正の状態が続いたが、その後は 0 付近で変動し、10 月以降は負の値が続いた。5 か月移動平均で見ると、正から負の値へと 1 年を通して下降している。

図 2.1-4 (a) ～ (d) は、太平洋の赤道に沿った海面から深さ 400m までの水温とその平年値 (1979 ～2004 年の 26 年平均値) からの偏差を 2009 年 2 月、5 月、8 月、11 月について示している。通常の状態では、貿易風により西部に暖かい海水が吹き寄せられ、また東部では下層の冷たい海水が湧き上がっているため、表層の暖かい海水と下層の冷たい海水の境である水温躍層 (20℃の等温線の深さにほぼ相当する) は、西で深く東で浅くなっている。2 月 (a) は中部から東部は低温偏差 (負偏差、水温躍層が浅い) だったが西部には顕著な高温偏差 (正偏差、水温躍層が深い) が見られた。高温偏差は東へ拡大し、5 月 (b) は西部から東部まで及んだ。8 月 (c) は、東部には弱い低温偏差が見られたが、西部から中部は顕著な高温偏差だった。11 月 (d) は、顕著な高温偏差が中部から東部に見られたが、西部には低温偏差が見られた。

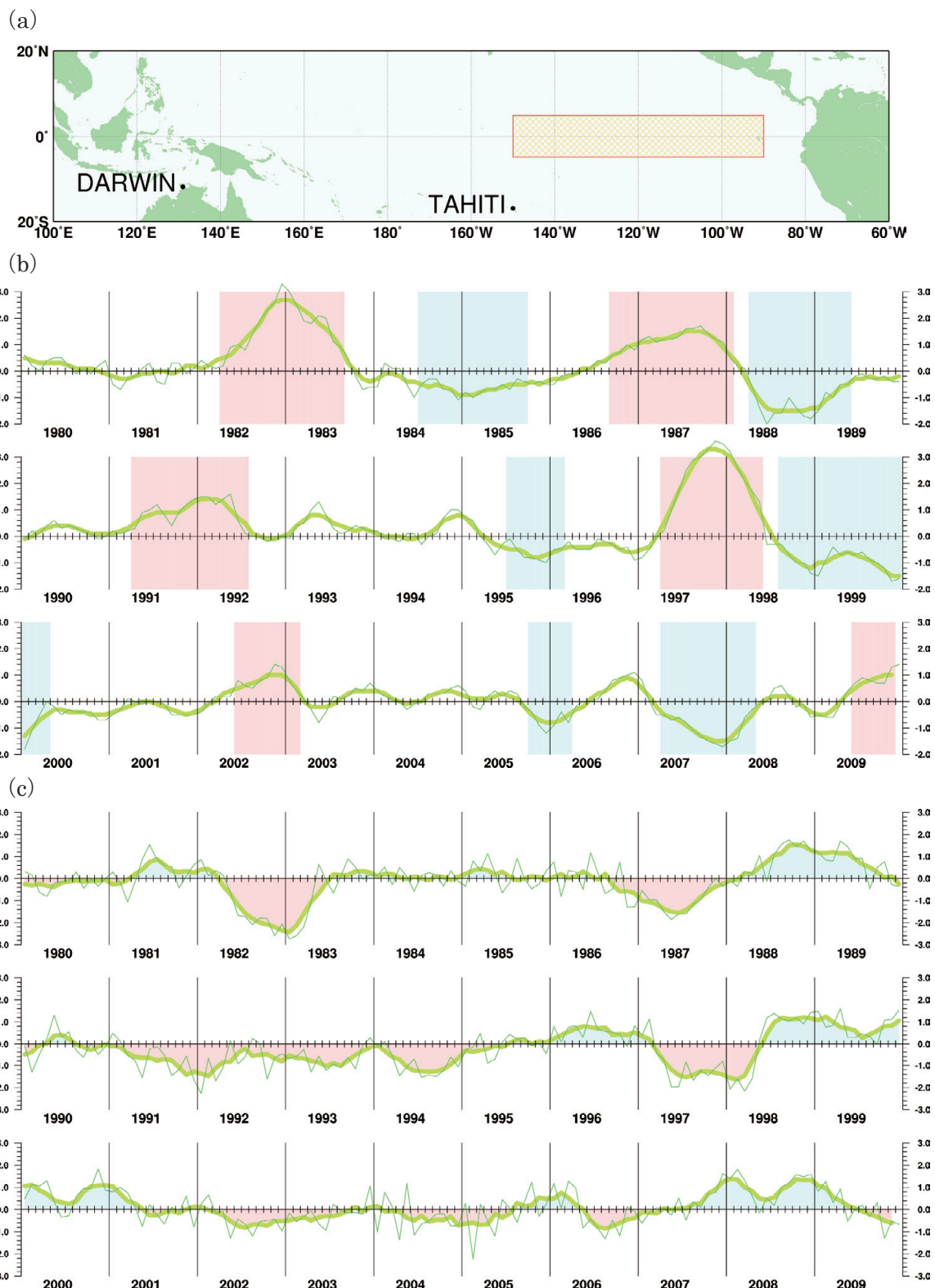
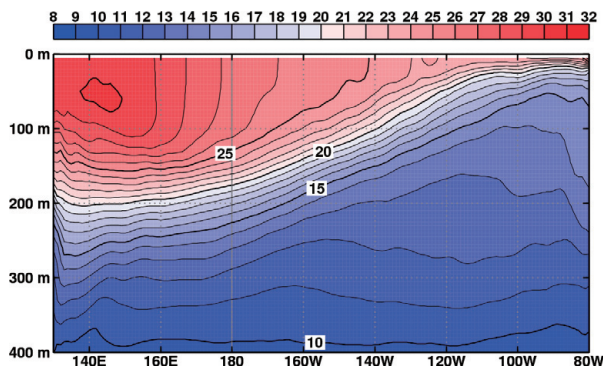


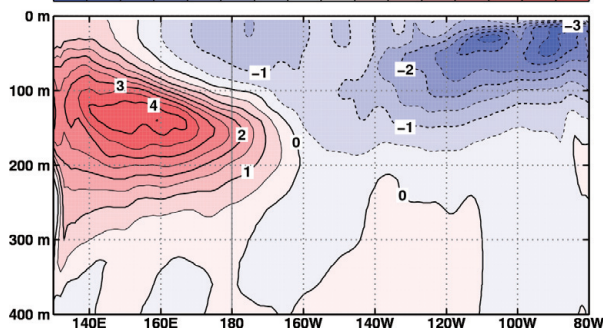
図 2.1-3 (a) エルニーニョ監視海域（北緯 5 度～南緯 5 度、西経 150 度～西経 90 度）と (b) エルニーニョ監視海域の月平均海面水温の基準値（その年の前年までの 30 年平均値）との差（ $^{\circ}\text{C}$ ）および (c) 南方振動指数の経年変化（1980～2009 年）

(b)、(c) での細線は月の値、太線は 5 か月移動平均値を示す。(b) では、5 か月移動平均値が 6 か月以上続けて  $+0.5^{\circ}\text{C}$  以上となった場合をエルニーニョ現象の期間として赤で、6 か月以上続けて  $-0.5^{\circ}\text{C}$  以下となった場合をラニーニャ現象の期間として青で示している。(c) では、正の期間を青、負の期間を赤で示している。

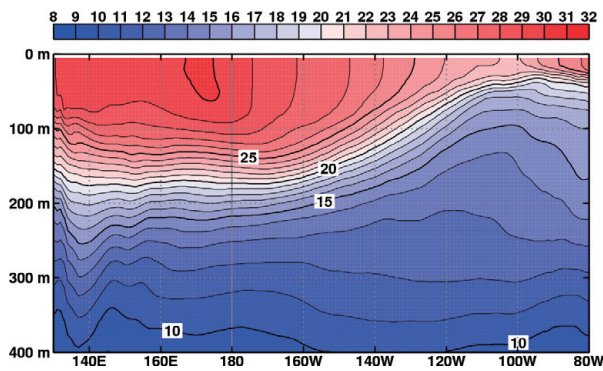
(a) 2009年2月



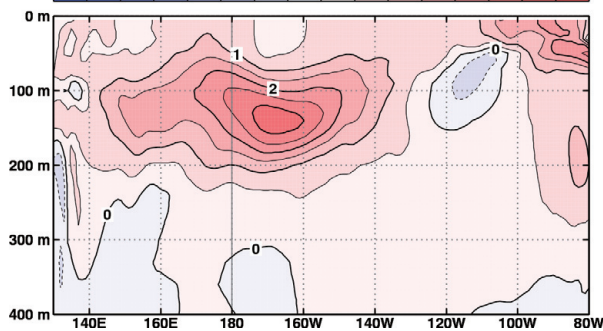
-4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0



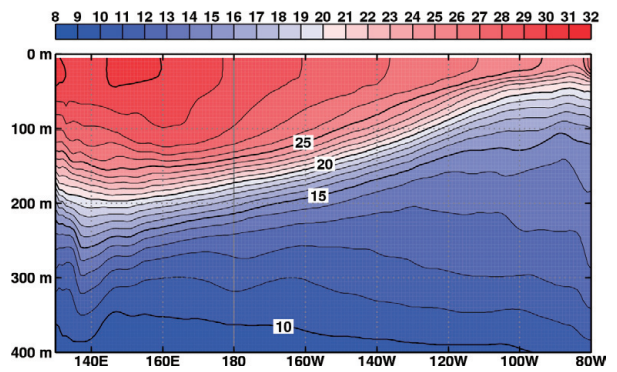
(c) 2009年8月



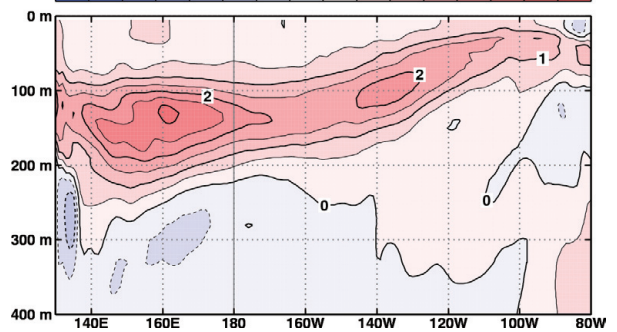
-4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0



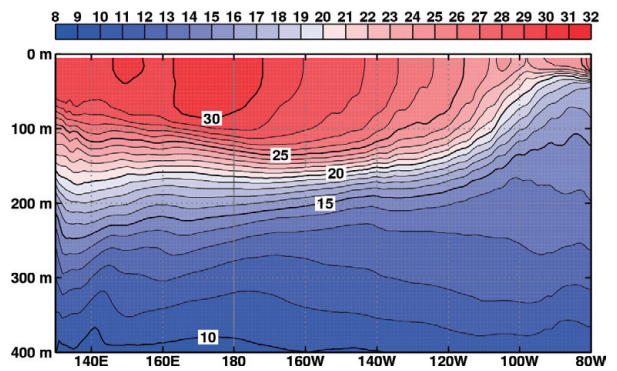
(b) 2009年5月



-4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0



(d) 2009年11月



-4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0

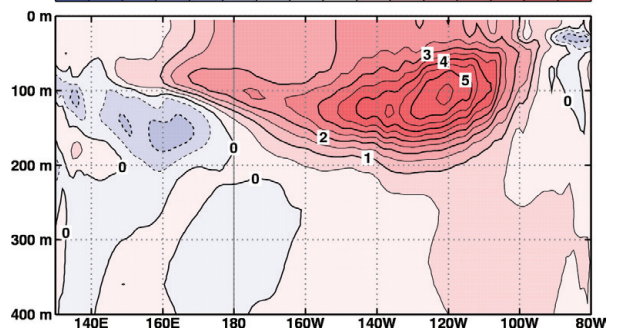


図 2.1-4 太平洋の赤道に沿った表層水温および偏差の深度-経度断面図 (°C)

2009年 (a) 2月、(b) 5月、(c) 8月、(d) 11月。平年値は1979~2004年の26年平均値。

### 1.3 北極・南極域の海氷

図 2.1-5 は、北極域の海氷域面積の年最小値・年平均値の経年変化、南極域の海氷域面積の年平均値の経年変化（1979～2009年）を示している。

北極域の海氷域面積は、1979年以降、長期的に見ると減少傾向を示している。特に、海氷域面積が1年間で最も小さくなる夏季（年最小値）においてその減少が顕著で、2009年までの減少率は8.3万km<sup>2</sup>/年となった。また、海氷域面積の年平均値の2009年までの減少率は6.1万km<sup>2</sup>/年だった。2009年は、夏季の海氷域面積の年最小値が513万km<sup>2</sup>と2007年、2008年について3番目に小さい記録となった。

一方、南極域の海氷域面積の年平均値は、1.5万km<sup>2</sup>/年とわずかに増加傾向を示している。

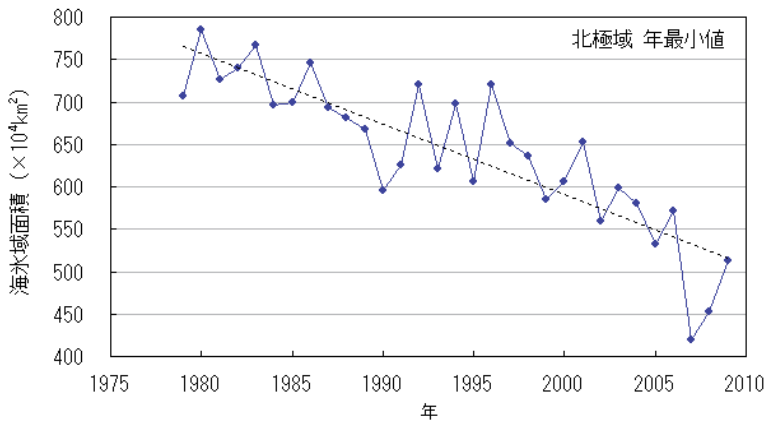
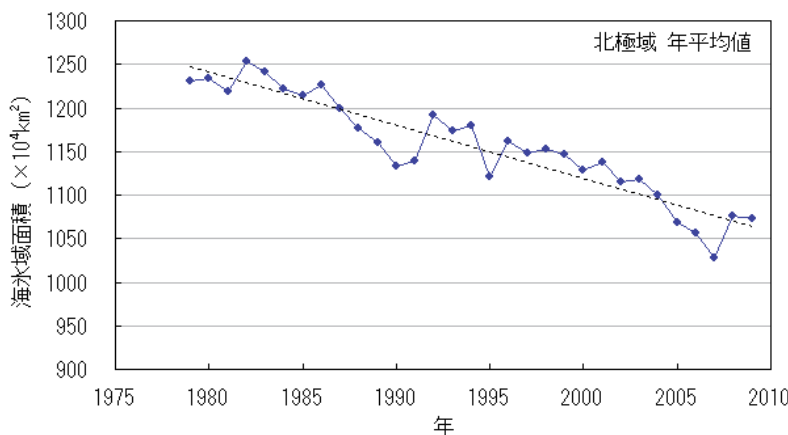


図 2.1-5 北極域の海氷域面積の年最小値・年平均値の経年変化、南極域の海氷域面積の年平均値の経年変化（1979～2009年）

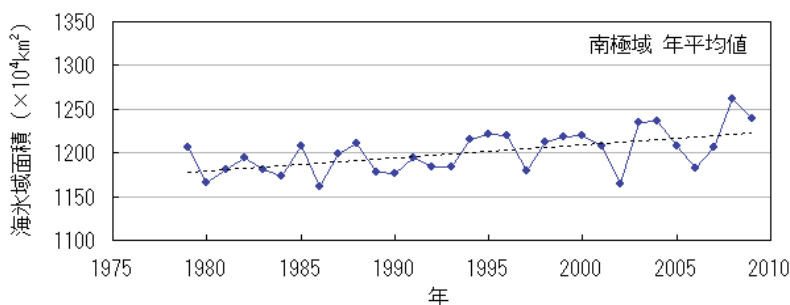
青色の折れ線は海氷域面積の経年変化を示す(上から順に、北極域年最小値、北極域年平均値、南極域年平均値)。点線は各々の変化傾向を示す。



用いたデータ：

1979年1月～1987年7月：  
NIMBUS 7号の多重チャンネルマイクロ波走査放射計  
(米国航空宇宙局提供)

1987年7月～2009年12月：  
DMSP衛星のマイクロ波撮像装置  
(米国雪氷データセンター提供)





## 第2章 北西太平洋・日本近海

### 2.1 北西太平洋の海面水温・海流

#### 2.1.1 海面水温

図 2.2-1 に、日本近海における海域別の年平均海面水温の長期変化傾向を示す。九州・沖縄海域、日本海の中部および南部、日本南方海域においては、2009 年までのおよそ 100 年間で、 $+0.7\sim+1.7^{\circ}\text{C}/100$  年の割合で有意に上昇した。これらの上昇率は、世界全体で平均した海面水温の上昇率 ( $+0.50^{\circ}\text{C}/100$  年) よりも大きな値となっている (但し、図 2.2-1 に示した 13 海域のうち、日本海北部および北海道周辺・日本東方の 4 海域では、有意な傾向が見出せなかった)。

図 2.2-2 (a) ~ (d) に 2009 年 2、5、8、11 月の月平均海面水温の平年差を示す。日本近海の海面水温は、1 月は沖縄の南と本州東方で平年より低い海域がみられたが、2 月 (a) から 3 月にかけては冬型の気圧配置が続かず、寒気や低気圧の影響が弱かったこともあり、日本東方以外では海面水温が平年より高い海域が広がった。4 月から 6 月にかけては、5 月 (b) に示されるように沖縄の南から日本の南にかけて海面水温が平年より低くなった。7 月は北日本から西日本にかけて低気圧や梅雨前線、湿った気流の影響を受けたため、日本海・三陸沖・オホーツク海南部で海面水温が平年より低い海域が広がった。一方、日本南方から父島近海にかけては、海面水温が平年より高い海域が広がった。8 月 (c) は太平洋高気圧の本州付近への張り出しが弱く、日本海南部やオホーツク海南部では海面水温が平年より低い状態が続いた。一方、沖縄周辺では高気圧に覆われ日照時間が多く、海面水温が平年より高い海域が広がった。9 月は日本の南から日本東方を台風が次々に通過したため、これらの海域では海面水温が平年より低かった。10 月、11 月 (d)、12 月は日本近海の海面水温はおおむね平年より高かった。

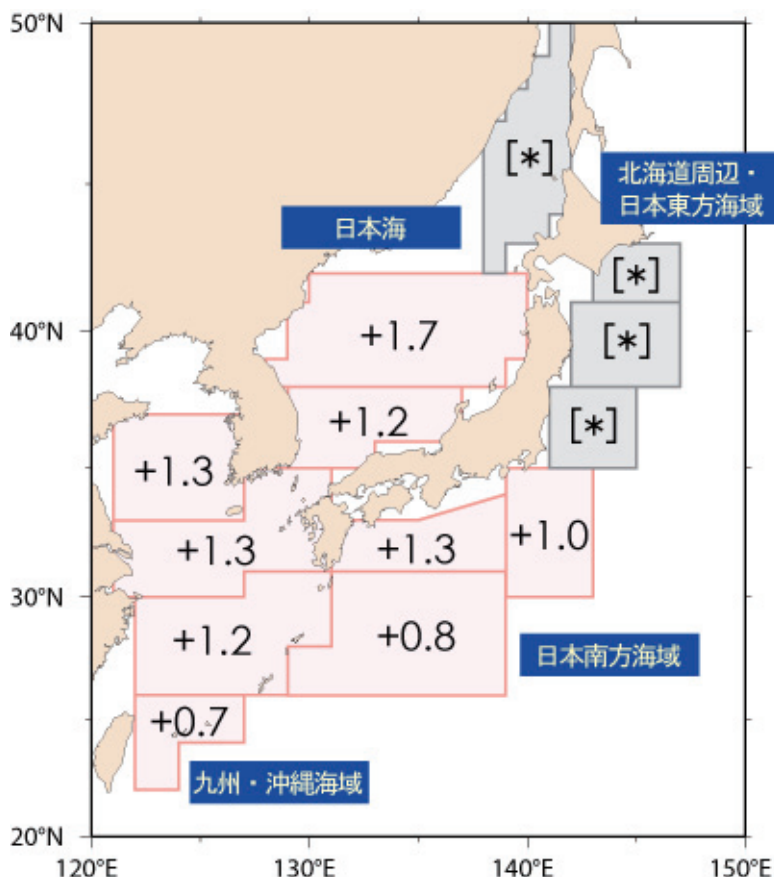
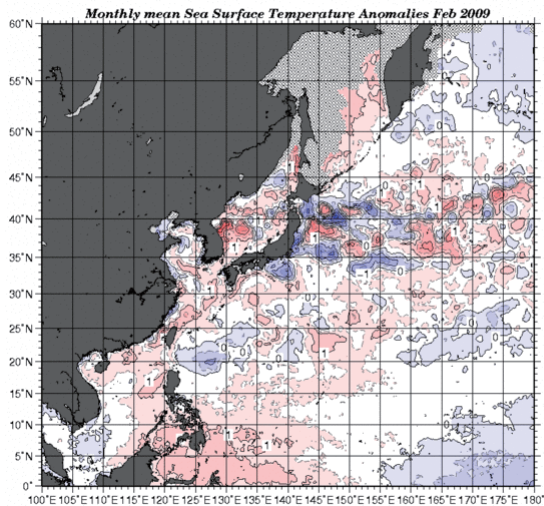


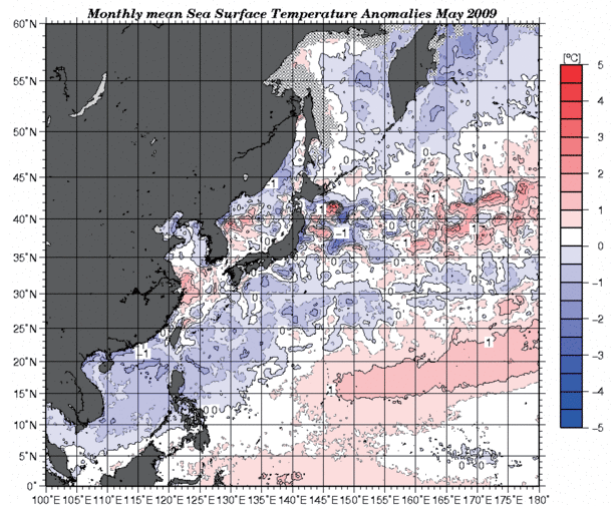
図 2.2-1 日本近海の海域平均海面水温 (年平均) の長期変化傾向 ( $^{\circ}\text{C}/100$  年)

1900 年から 2009 年までの上昇率を示す。上昇率が『\*』とあるものは、十年規模の変動が顕著なため、100 年間の上昇率が明確に見出せないことを示す。

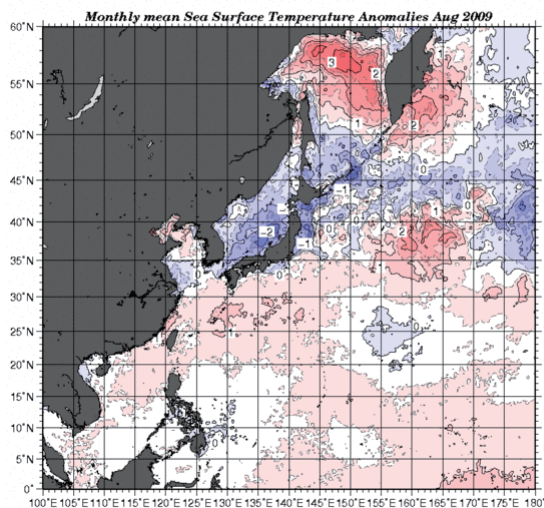
(a)



(b)



(c)



(d)

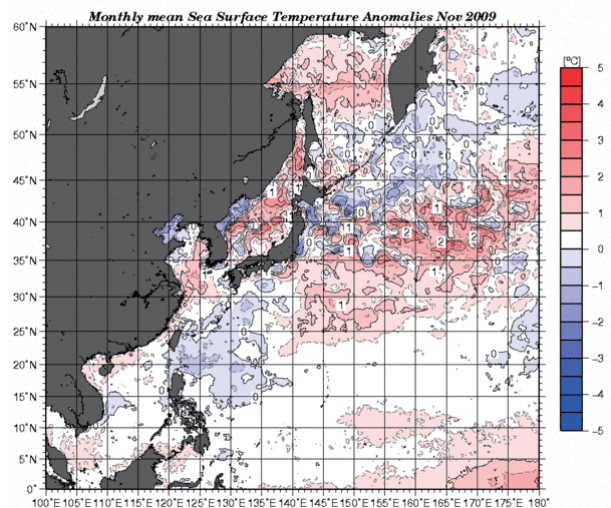


図 2.2-2 月平均海面水温偏差図

(a) 2009年2月、(b) 5月、(c) 8月、(d) 11月。平年値は1971～2000年の30年平均値。

## 2.1.2 海流

### (1) 黒潮

日本南岸における黒潮（表層流速が最も大きな部分を連ねた経路）は、1月から8月まではおおむね東海沖を南東に、八丈島の南を東に流れ、伊豆諸島の東を北上する流路となっていた。8月から11月にかけては東海沖の流路が次第に北上し、9月下旬には八丈島付近を、10月から11月中旬にかけては八丈島と三宅島の間を北東に流れた。11月下旬以降は、おおむね八丈島付近を流れた。房総半島沖では8月中旬から10月上旬にかけて、大きく離岸して流れた。なお、九州の東において6月上旬から8月上旬にかけてと9月中旬から11月中旬にかけて小蛇行が発生し東進したが、いずれも発達することなく四国沖で不明瞭となった。

### (2) 親潮

親潮（深さ100mにおける水温が5°C以下の領域）の南限位置は、1月から2月にかけて平年並

の位置にあった。3月から5月にかけては北緯40度付近にあり、平年ほど南下しなかった。6月から8月上旬にかけては、例年では北上する時期であるが、次第に南下し、平年より南の位置にあった。特に、7月下旬から8月上旬にかけては北緯38.5度付近まで達した。8月中旬以降は平年並か平年より北の位置で推移した。親潮の面積は、おおむね平年並か平年より小さかった。

## 2.2 日本沿岸および近海の海面水位

2007年2月に発表された、気候変動に関する政府間パネル (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) 第4次評価報告書第1作業部会報告書では「世界平均海面水位は1961年から2003年にかけて、年あたり1.8 [1.3~2.3] mmの割合で上昇した。1993年から2003年にかけての上昇率はさらに大きく、年あたり3.1 [2.4~3.8] mmの割合であった。」と結論づけられている。ここで、[ ]内に示した数値は、解析の誤差範囲 (90%信頼区間) をあらわしている。

しかし、図2.2-3に示すここ100年の日本沿岸の海面水位には、世界平均の海面水位にみられるような明瞭な上昇傾向はみられない。1950年ころに極大がみられ、また約20年周期の変動が顕著である。上記のIPCC第4次評価報告書と同じ期間で日本沿岸の海面水位の変化を比較すると、1961年から2003年にかけての上昇率は年あたり0.8 [0.3~1.3] mmであり、1993年から2003年にかけての上昇率は年あたり4.9 [2.1~7.7] mmであった。

なお、図2.2-3で用いた海面水位データは日本沿岸の地盤変動の影響が小さい検潮所の値である。2009年の日本沿岸の海面水位は平年値 (1971~2000年平均) と比べて37mm高く、1960年以降で第4位に相当する。1990年代後半以降は平年値と比べて高い年が続いている。

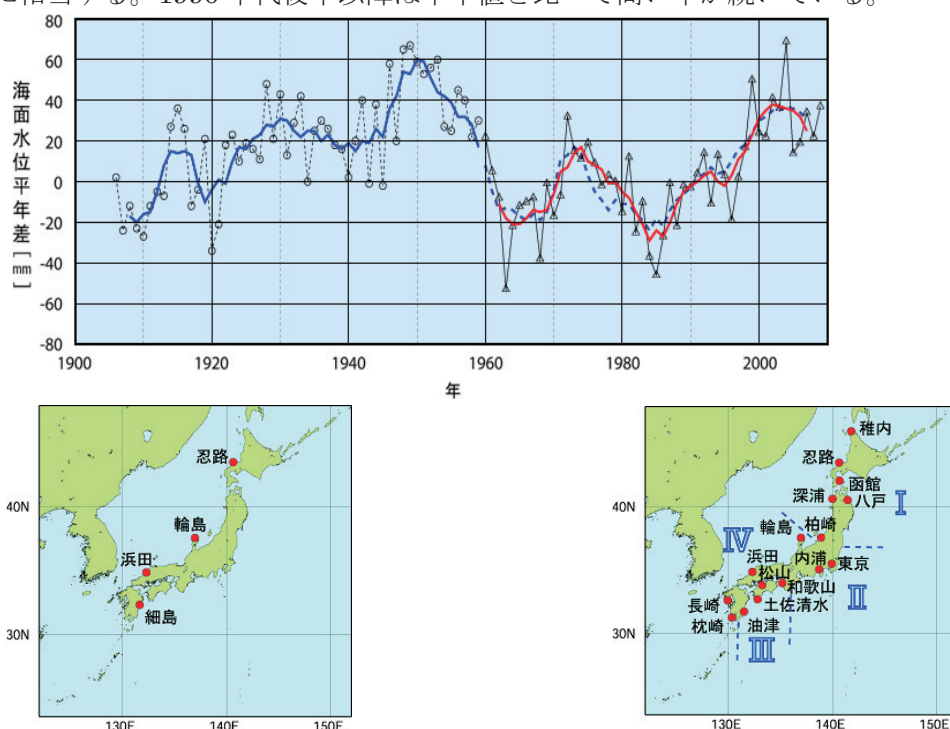


図 2.2-3 日本沿岸の年平均海面水位の変化 (1906~2009 年) と検潮所位置図

日本沿岸で地盤変動の影響が小さい検潮所を選択している。1906年から1959年までは日本沿岸の検潮所の数が少なかったため、下左図に示した4地点の検潮所それぞれについて求めた年平均海面水位平年差を平均した値の変化を示している。1960年以降については、変動パターンが類似している海域別に日本周辺をI:北海道・東北地方の沿岸、II:関東・東海地方の沿岸、III:近畿太平洋側~九州太平洋側の沿岸、IV:北陸地方~九州東シナ海側の沿岸の4海域に分類 (下右図に、使用した16地点の検潮所とともに示す) し、海域ごとに求めた年平均海面水位平年差を平均し、その変化を示している。グラフの海面水位は、1971年から2000年までの期間で求めた平年値を0mmとした、各年の年平均海面水位平年差の時系列である。青実線は4地点平均の平年差の5年移動平均値、赤実線は4海域平均の平年差の5年移動平均値を示している。なお、青破線は、4地点平均の平年差の5年移動平均を期間後半 (1960年以降) について算出し、参考として示したものである (1962~2007年における赤実線と青破線の値の相関係数は0.96で両者の対応は良く、1959年から1960年にかけての地点の追加・削除がその間の海面水位平年差の変化に与えた影響は小さいと考えられる)。

使用した検潮所のうち、忍路、柏崎、輪島、細島は国土地理院の所管する検潮所である。

東京は1968年以降のデータを使用している。

図 2.2-4 に、図 2.2-3（右図）で示した I～IVの海域ごとに求めた 1960 年以降の年平均海面水位 10mm 刻みの年差を示す。

ここ数年の各海域の海面水位を見ると、各海域とも 2004 年に最も高くなった後 2005 年は大きく低下している。2006 年は北海道・東北と関東・東海の沿岸で低下したのに対してそのほかの海域では上昇、2007 年は近畿～九州の太平洋側沿岸で低下した以外は上昇した。2009 年の海面水位は 4 海域の平均で 2008 年から 15mm 上昇した。海域別に見た前年からの上昇量は北海道・東北（I）で 30mm と最も大きく、次いで北陸～九州の東シナ海側（IV）で 16mm となったが、関東・東海（II）と近畿～九州の太平洋側（III）での上昇量は 10mm 以下でわずかであった。北海道・東北及び北陸～九州の東シナ海側の海面水位が上昇した主な要因としては、これらの海域の沿岸で表層水温が 2008 年に比べて上昇したことが考えられる。このうち、関東・東海の沿岸に見られる大きな変動については、2004 年 7 月に発生し 2005 年 8 月に終息した黒潮の大蛇行の影響が主な要因と見られる。大蛇行発生時には黒潮の本流から分岐した流れが関東・東海地方の沿岸を西向きに流れ、地球の自転の影響によって海水が陸側へ輸送された。これに海水の熱膨張が加わり、2004 年は過去 10 年間で最も海面水位が高くなった。一方で黒潮大蛇行発生時には蛇行の北側の海域に冷水渦が生成されたが、2005 年に大蛇行が終息すると沿岸を西向きに流れる分枝も消失し、関東・東海地方の沿岸をこの冷水が覆った。このため 2005 年と 2006 年の海面水位は低下し、2006 年は 2004 年に比べて 116mm も低くなった。しかし、2007 年には東海地方沿岸の冷水の勢力が弱まったため、逆に 2006 年から 60mm の大きな上昇となった。2007 年から 2009 年にかけては、黒潮は非大蛇行型が継続しており、この間、関東・東海の沿岸の年平均海面水位に大きな変動は見られなかった。

1960 年から 2009 年までの海面水位の変化を海域別に見た場合、北陸～九州の東シナ海側で他の海域に比べて大きな上昇傾向がみられる。

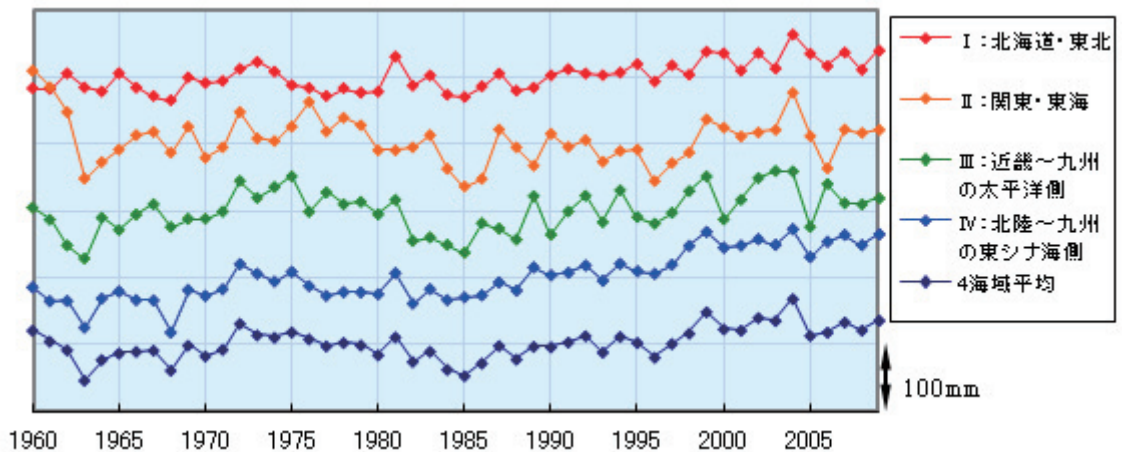


図 2.2-4 海域別の年平均海面水位の変化（1960～2009 年）

海域は図 2.2-3（右下）に示した。上から I：北海道・東北地方、II：関東・東海地方、III：近畿太平洋側～九州太平洋側、IV：北陸地方～九州東シナ海側の各沿岸及び 4 海域平均について、それぞれの 1971 年から 2000 年までの期間で求めた平年値を 0mm とし、各年の年平均海面水位年差の時系列を示している。また、表示をみやすくするため、0mm を示す横線を海域ごとに 100mm ずつずらして描画している。

また、気圧が一定の場合、実際の海面水位は水温だけでなく、塩分が加わった海水の密度によって決定される。気象庁では 1960 年代から観測船を用いて日本近海ならびに北西太平洋の海洋観測を実施しており、水温や塩分の鉛直分布を計測し、海水の密度ならびに力学的海面高度（水温・塩分をもとに計算した海面の高さ）を算出している。図 2.2-5 は東シナ海（A）、本州南方（B）の海洋観測点（上図）の年平均力学的海面高度偏差と近傍の検潮所における年平均海面水位平年差の時系列（右図）である。海洋観測点 A の力学的海面高度と那覇の海面水位は各年の値、長期変化傾向とも類似しており、この海域での海洋表層の密度変化にともなう近海の海面水位変化が沿岸の検潮所における海面水位変化の主要因になっていることがわかる。一方、海洋観測点 B の力学的海面高度と父島の海面水位の対応は、年代によっては各年の値にやや系統的な差がみられるが、長期変化傾向には類似がみられる。

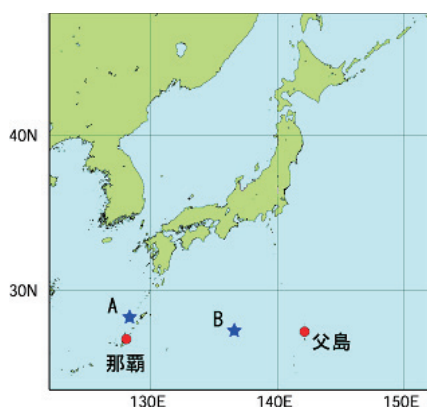
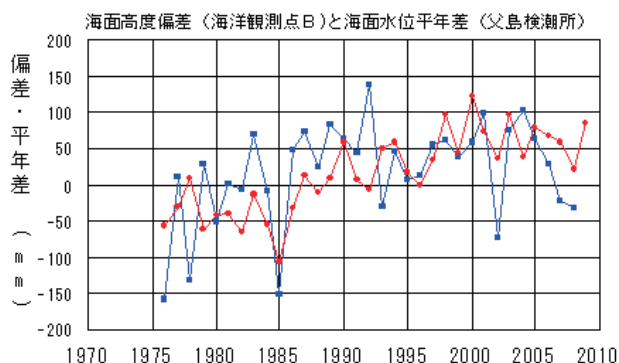
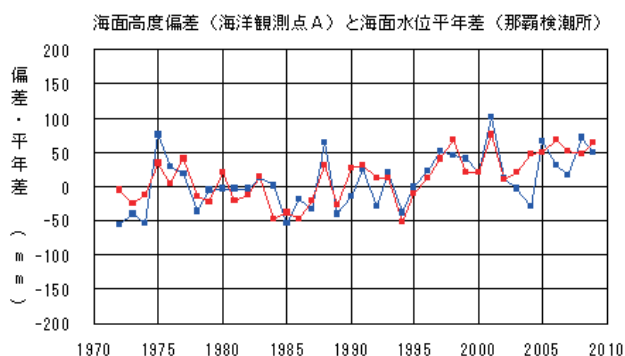


図 2.2-5 海洋観測点（A、B）と近傍の検潮所の位置図（上）ならびに各点における力学的海面高度偏差と近傍の検潮所の海面水位平年差との比較（A：1972～2009年、B：1976～2009年）（右）

力学的海面高度偏差は、海洋表層の水温と塩分の分布から計算された海面の高さについて平年からの差（偏差）であらわしたものである。各海洋観測点における海面高度偏差の変化を青線で、近傍に位置する検潮所における年平均海面水位平年差の変化を赤線で示している。海洋観測点平年値は、Aは1972～2000年、Bは1976～2000年各年の海面高度の平均値。検潮所の平年値は、那覇は1971～2000年、父島は1976～2000年の海面水位の平均値。



### 2.3 オホーツク海の海水

2008年12月～2009年5月におけるオホーツク海の5日ごとの海水域面積（半旬海水域面積）は、3月初め及び5月下旬頃には一時的に平年並又は平年より大きくなったが、シーズンを通じて概ね平年より小さい状態で経過した（図 2.2-6）。面積が最大となったのは3月5日で、その値は109.34万km<sup>2</sup>であった。なお、前シーズンの最大海水域面積は110.69万km<sup>2</sup>であった（図 2.2-7）。最大海水域面積の平年値は122.83万km<sup>2</sup>である。

2009年12月におけるオホーツク海の半旬海水域面積は、初めは平年並、それ以降は平年より小さく経過した（図 2.2-6）。

積算海水域面積（\*）は年ごとに大きく変動しているものの、長期的には緩やかに減少している（図 2.2-7）。2008年12月～2009年5月の積算海水域面積は、1971年の統計開始以来の過去最小だった2006年に次いで2番目に小さい記録となった。

北海道オホーツク海沿岸では、網走で1946年の統計開始以来最も早い3月17日に流氷終日となり、流氷期間は最も短い43日を記録した（1991年と1位タイ記録）。稚内、釧路、根室では2年ぶりに流氷が観測されなかった。根室で流氷が観測されなかったのは1946年の統計開始以来4度目で、その全てが1990年以降に発生している。

（\*）積算海水域面積：前年12月5日～5月31日までの5日ごとの海水域面積の合計。その年の海水の勢力をあらわす指標として用いている。

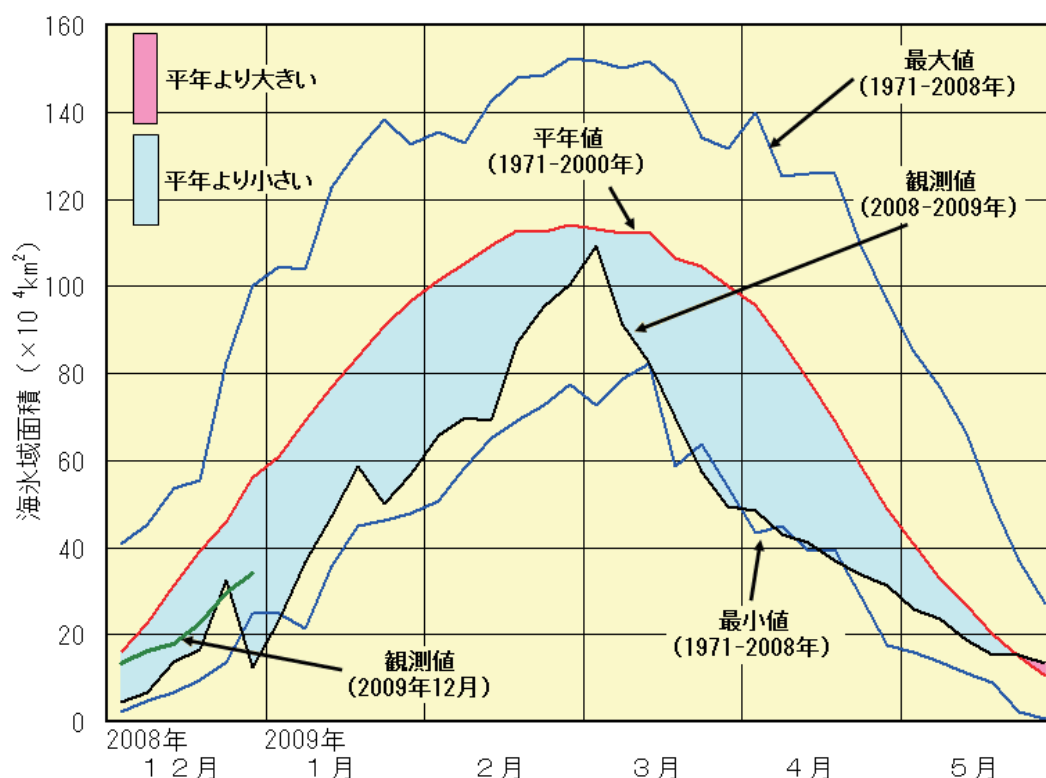


図 2.2-6 2008～2009年のオホーツク海の半旬ごとの海水域面積の経過

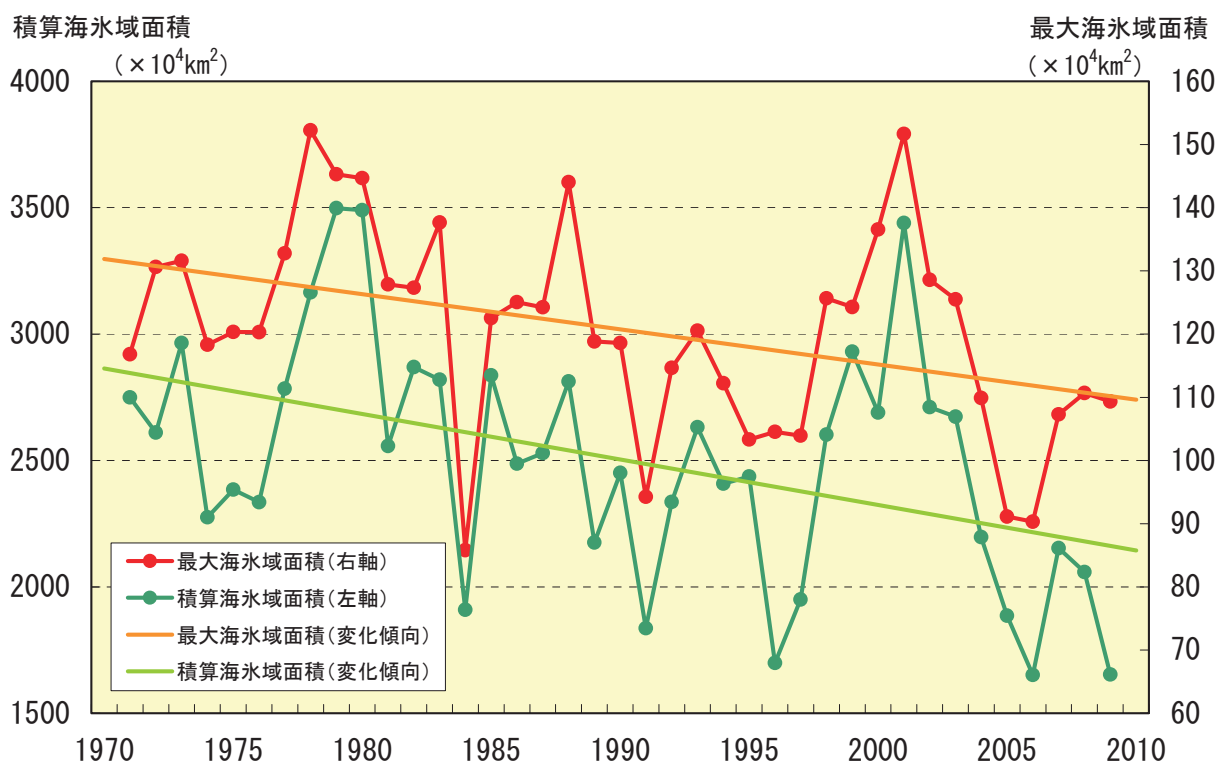


図 2.2-7 オホーツク海の積算海水域面積（緑）と最大海水域面積（赤）の経年変化（1971～2009年）



## 2.4 北西太平洋の海洋汚染

海洋汚染の防止のためには国際的な取り組みが不可欠である。わが国では、「廃棄物その他のものの投棄による海洋汚染の防止に関する条約（ロンドンダンプング条約）」（1972年採択）および「船舶による汚染の防止のための国際条約（マルポール条約）」（1973年採択）の採択を巡る国際的議論などを背景にして、1971年に「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律（海洋汚染防止法）」が施行された。気象庁は同法にもとづき、海洋汚染の防止および海洋環境の保全に資するため、1972年から海洋バックグラウンド汚染観測を実施している。

### 2.4.1 海面浮遊汚染物質（プラスチック類）

海面浮遊汚染物質の観測は、航海中毎日、日の出から日の入りまでの間、海洋気象観測船の船橋から目視によって行う。浮遊汚染物質を発見するたびに日時、位置、種類、形状、大きさ、個数などを記録する（発見されない場合は「なし」という記録を残す）。気象庁では、浮遊汚染物質の発見個数を航走100 kmあたりの数に換算してデータを整理している。

2009年のプラスチックなどの浮遊汚染物質の分布を図2.2-8に示す。図には、航走100 kmあたりの浮遊汚染物質の発見個数を、各観測日の正午位置に黒丸の大きさ（発見されないときは+）で示してある。日本周辺海域ではいずれの季節も一部で10個/100kmを越える浮遊汚染物質が観測されており、特に夏季と秋季には50個/100 kmを超える多量の浮遊汚染物質を観測した。一方、北緯20度以南の海域では、発見個数が5個/100 kmを超える観測は少ないが、赤道付近の海域では、夏季に10個/100kmを超える浮遊汚染物質を観測した。

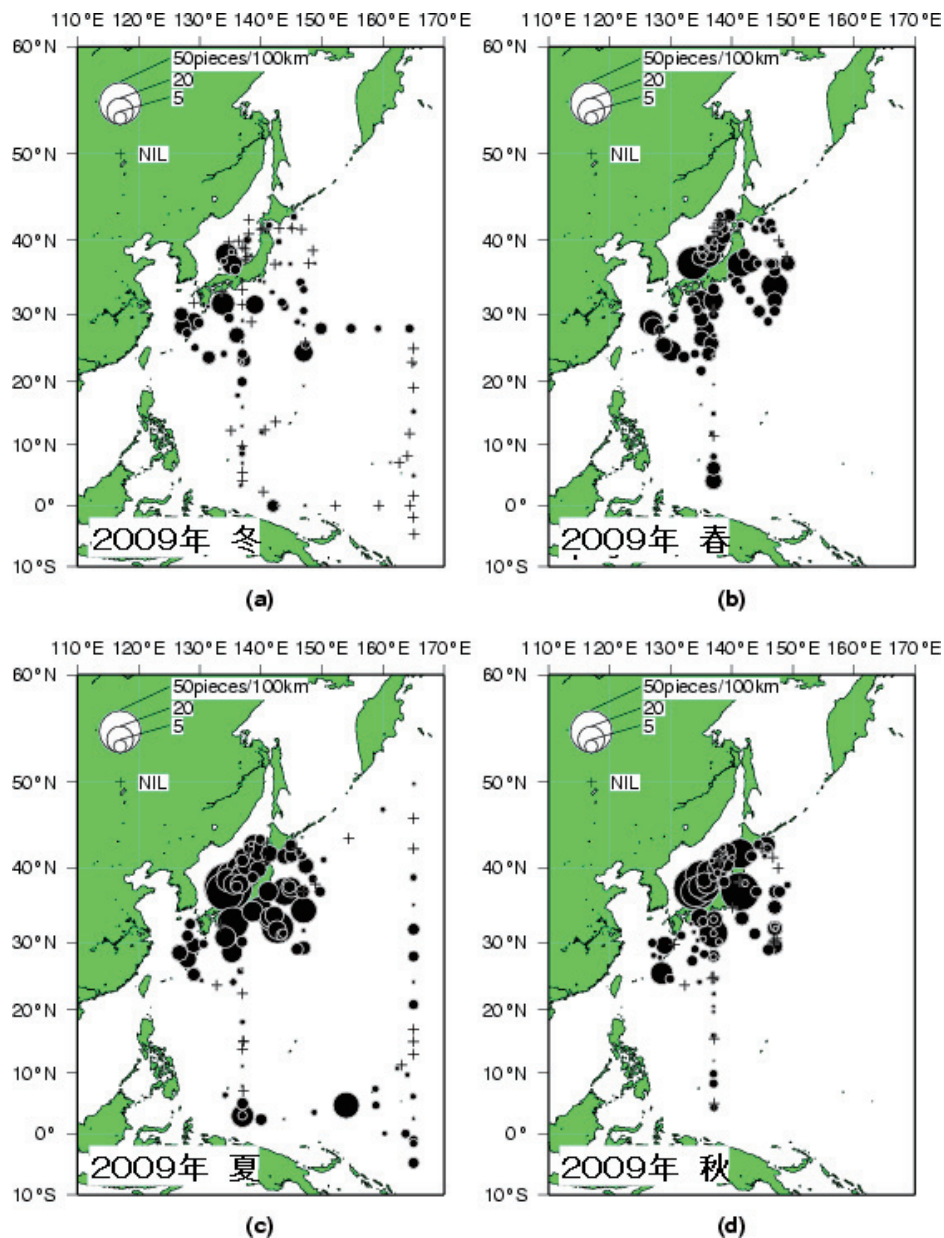


図 2.2-8 2009 年の海面浮遊汚染物質（プラスチック類）発見個数

(a) 冬季、(b) 春季、(c) 夏季、(d) 秋季。

図中の“+”は海面浮遊汚染物質が発見されなかったことを示す。

#### 2.4.2 浮遊タールボール（油塊）

タールボール（油塊）は、船舶から排出されたビルジ（船底にたまった海水・水あか）や、海難事故などにより流出した重油が風化作用で揮発成分を失って、ボール状に固まったものである。大きさは、多くの場合直径 1 mm から数 mm 程度だが、まれに数十 cm に達することもある。浮遊タールボールは、観測船からロープで繰り出した水平曳きネット（開口部の幅：75cm または 50cm、網目：0.35mm）を 1.5 海里（約 2.8km）曳航（えいこう）して採取する。採取した重量をネット開口部が通過した面積で割って、タールボール密度（単位：mg/m<sup>2</sup>）とし、観測を実施した位置、日時等とともに記録する（タールボールが採取されない場合は「なし」という記録を残す）。

2009年に観測した全ての海域でタールボールは採取されず、図 2.2-9には観測位置のみ+で示す。北西太平洋全般に、1996年以降、タールボールが採取されることはまれになっている。

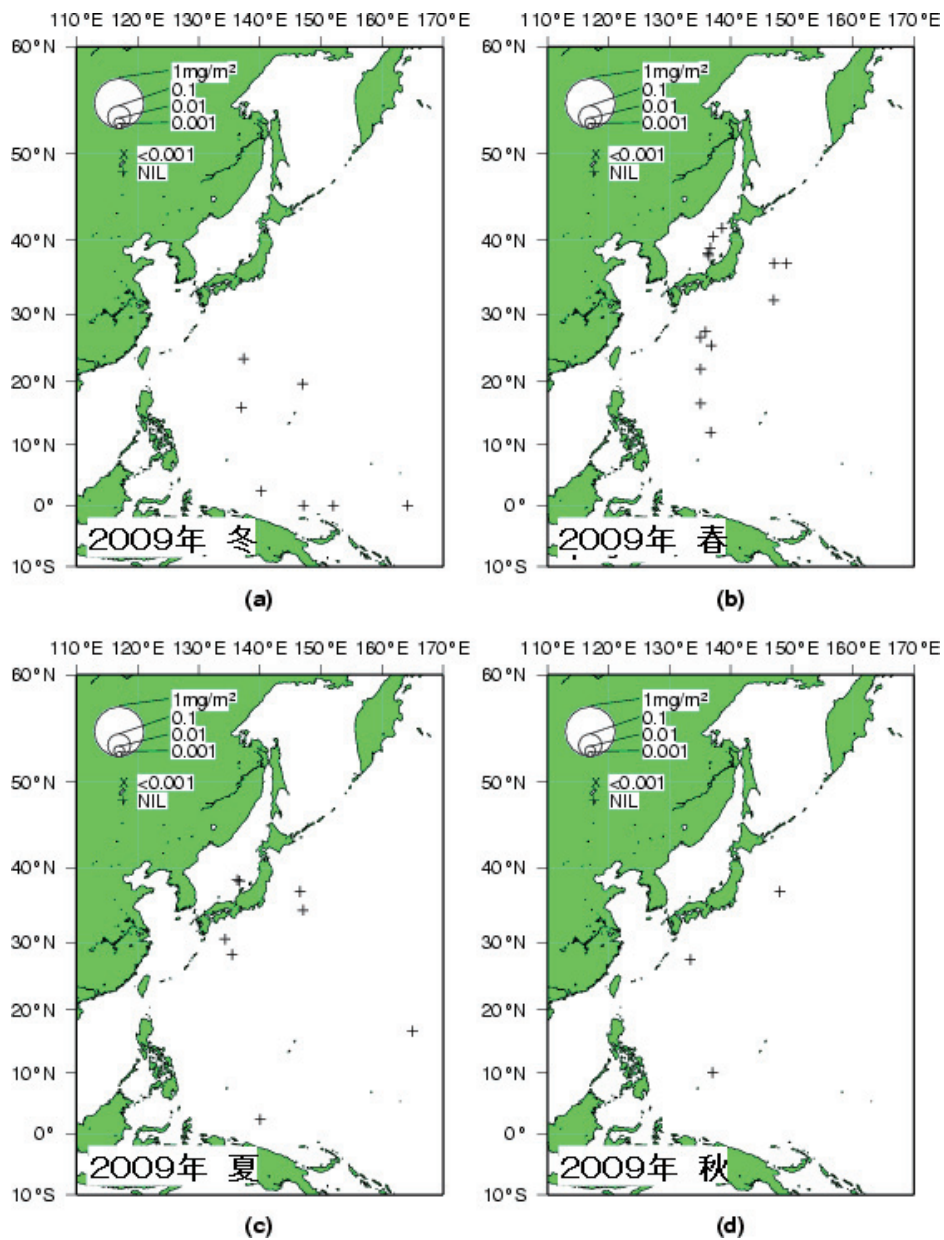


図 2.2-9 2009 年に観測された浮遊マイクロプラスチックの分布

(a) 冬季、(b) 春季、(c) 夏季、(d) 秋季。

図中の“+”はマイクロプラスチックが採取されなかったことを示す。

### 2.4.3 重金属

重金属とは、金属の中でも比重がある程度大きい（4～5 が目安）ものをいう。その多くが生物にとって必須の元素だが、生物にとって有害なものもある。気象庁では、生体内に蓄積されやすく、しかも有害とされる、水銀とカドミウムを重金属の観測項目としている。

2009年に観測された表面海水中の水銀およびカドミウムの濃度を表 2.2-1 に示す（観測地点は図 2.2-10 を参照）。

水銀の最高濃度は東経 137 度線の北緯 30 度で観測された 24ng/kg であった。この値は「水質汚濁に係る環境基準（昭和 46 年・環境庁告示第 59 号）」に示された公共用水域における環境基準値の 20 分の 1 に満たない低濃度である。また、カドミウムの最高濃度は北海道南方で観測された 64ng/kg であった。この値も上記の環境基準値の 150 分の 1 に満たない低濃度である。外洋域における水銀およびカドミウムの自然界の濃度（バックグランドレベル）は、それぞれ 0.4～2ng/kg および 0.1～110ng/kg の範囲とされている。気象庁の観測値をこれらと比較すると、水銀はおおむね同レベルかやや高い値であるが、カドミウムは範囲に収まっている。北西太平洋全般に、水銀、カドミウムとも自然界のバックグランドレベルにあるものとみられる。

なお、海水中のカドミウム濃度はリン酸塩濃度と高い相関を示すことが知られており、その鉛直分布も類似している。北海道南方海域は、リン酸塩などの栄養塩に富む親潮域にあたり、本州南方のように栄養塩に乏しい黒潮域に比べると、高濃度のカドミウムが検出される。

表 2.2-1 2009年に観測された表面海水中の重金属（水銀およびカドミウム）濃度（単位：ng/kg）

海 域		水 銀	カドミウム
日本周辺海域	北海道南方	1 - 2	15 - 64
	日本海	1 - 3	7 - 33
	房総半島沖	2 - 21	1 - 25
	本州南方	0 - 2	0 - 9
	東シナ海	0 - 7	0 - 12
北西太平洋	東経 137 度線 北緯 20～30 度	1 - 24	0 - 1
	東経 137 度線 北緯 5～15 度	2 - 7	0 - 4
環境基準値*		500	10,000

\*「水質汚濁に係る環境基準（昭和 46 年・環境庁告示第 59 号）」において mg/l 単位で示された基準値を ng/kg 単位に換算したもの

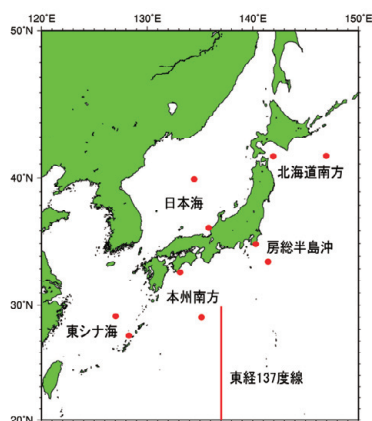


図 2.2-10 重金属（水銀およびカドミウム）の観測地点

赤丸は日本周辺海域の観測地点を示す。赤線は東経 137 度の経線を示し、観測地点はこの経線に沿って北緯 5 度から 30 度まで緯度 5 度間隔としている。

### 第3部 環境

温室効果ガスの削減など環境施策を推進するにあたっては、基礎情報として環境に関する現状および変化を科学的見地から正確に把握することが重要である。気象庁ではこれらの観測を、世界気象機関（WMO）が推進している全球大気監視（GAW）計画等の世界規模の観測網の一環として行っている。

第1章では、温室効果ガス、オゾン層破壊物質と微粒子（エアロゾル）の観測について述べる。二酸化炭素やメタンなどの地上付近の濃度については国内3地点において、南北太平洋上空8～13kmの大気中の濃度については、定期航空便を利用して観測している。さらに、日本周辺海域および北西太平洋における洋上大気および海水中の濃度については海洋気象観測船による観測を行っている。大気中に浮遊するちりなどの微粒子は、その状態をあらゆる指標として、直達日射量から算出される大気の混濁度を国内4地点で、エアロゾル光学的厚さを国内3地点で監視している。

第2章では、国内4地点で行っているオゾン層、紫外線の観測について述べる。これらの詳細については「オゾン層観測報告2009」もあわせて参照願いたい。

第3章では、黄砂と酸性雨について述べる。黄砂は全国67地点で、酸性雨は国内2地点で、観測を行っている。黄砂の観測点を除く国内観測地点と海洋観測船による温室効果ガス等の観測ラインの一部を図3.1-1に示す。

さらに、気象庁は、WMOの温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）を運営しており、世界各地の温室効果ガスの観測データを収集するとともに、集めたデータの解析および国内外への提供を行っている。世界的に観測・収集されたデータは、WMO温室効果ガス年報での温室効果ガスの世界的な状況の解析をはじめ、今後の温室効果ガス濃度の予測や、大気・海洋・生物圏の間での炭素循環の解明などに利用されている。これらの解析結果については第1章で述べるが、さらに詳しい解析は、毎年発行される大気・海洋環境観測報告（[http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/cdrom/report\\_k.html](http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/cdrom/report_k.html)）に記載されているので、こちらをあわせて参照願いたい。

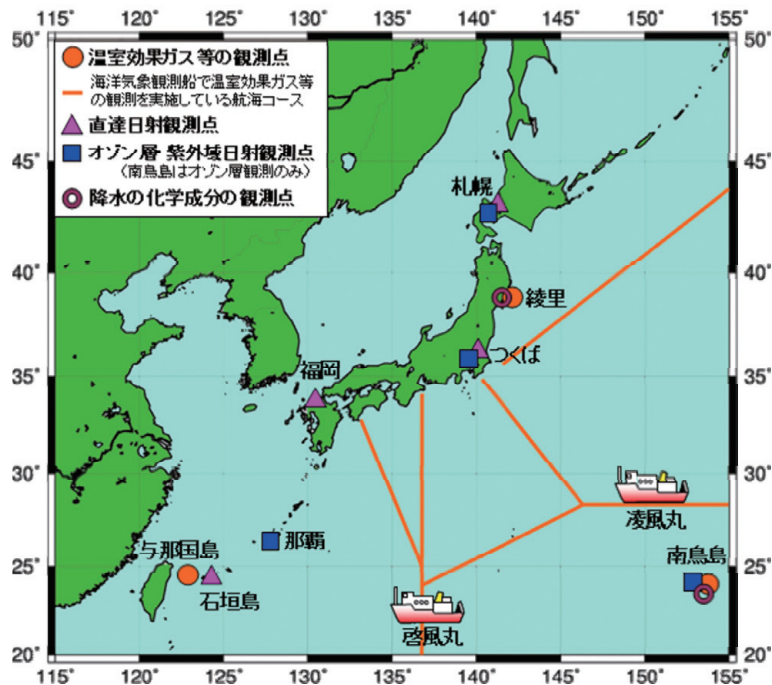


図 3.1-1 温室効果ガス等の観測点（3 地点）、直達日射観測点（4 地点）、オゾン層・紫外域日射観測点（4 地点）および降水の化学成分の観測点（2 地点）の位置

# 第1章 温室効果ガスおよびオゾン層破壊物質などの状況

## 1.1 大気中の温室効果ガスおよびオゾン層破壊物質

2009年までに気象庁が運営するWDCGGに報告されたデータをもとに計算した温室効果ガス等の世界平均濃度を表3.1-1に示す。WDCGGの解析によれば、二酸化炭素濃度と一酸化二窒素濃度は引き続き増加しつつあり、メタン濃度の2008年の増加量は、2007年と同じく7ppbとなった。温室効果ガスではないが大気中での様々な化学反応を通してメタンなどの温室効果ガス濃度に影響を及ぼす一酸化炭素濃度には、大きな変動はみられない。

表3.1-1 温室効果ガス等の世界平均濃度

温室効果ガス等の種類	大気中の濃度		前年との差	参考数値	
	産業革命前	2008年平均濃度 (産業革命以降の増加率)		寿命(年)	放射強制力* (W/m <sup>2</sup> )
二酸化炭素	約280 ppm	385.2 ppm (+38%)	+2.0 ppm	不定	1.66 [1.49~1.83]
メタン	約715 ppb	1797 ppb (+151%)	+7 ppb	12	0.48 [0.43~0.53]
一酸化二窒素	約270 ppb	321.8 ppb (+19%)	+0.9 ppb	114	0.16 [0.14~0.18]
一酸化炭素		約91 ppb	-4 ppb	約0.25	-

\* 放射強制力とは、温室効果ガスの濃度変化や太陽放射の変化など、地球-大気系のエネルギーのバランスを変化させる影響力の大きさをあらわし、数値が大きいほど気候を変化させる可能性が大きくなる。ここに示しているのは、産業革命以降2005年までの濃度増加分に対応する推定値と推定幅である。

### 1.1.1 二酸化炭素

二酸化炭素は地球温暖化に及ぼす影響が最も大きな温室効果ガスである。先進工業国の産業革命(18世紀後半)以来、人間活動にともなう化石燃料の消費、セメント生産、森林破壊などの土地利用の変化などによる二酸化炭素の排出が、大気中濃度を増加させつつある。人間活動にともなう排出のうち、およそ4分の3は化石燃料の消費によるものである。

図3.1-2にハワイのマウナロア、綾里(岩手県大船渡市)、南極点における大気中の二酸化炭素濃度の経年変化を示す。南極点では1957年から、ハワイのマウナロアでは1958年から、また綾里では1987年からそれぞれ観測が行われている。南極点やマウナロアで観測が開始された当時、大気中の二酸化炭素濃度はおよそ315ppmであったが、季節変化を伴いながら、その後年々増加し、WDCGGの解析による2008年の世界平均濃度は385.2ppmとなっている。現在の濃度は産業革命以前の平均的な値とされる280ppmと比べて38%増加している。WDCGGの解析によると2008年の濃度は前年に比べて2.0ppm増えており、最近10年の平均では1.9ppm/年の割合で増えているが、この濃度増加量は1990年代の平均濃度増加量約1.5ppm/年より大きい。これは、当時に比べて主に化石燃料の燃焼による排出が増えたためと考えられている。

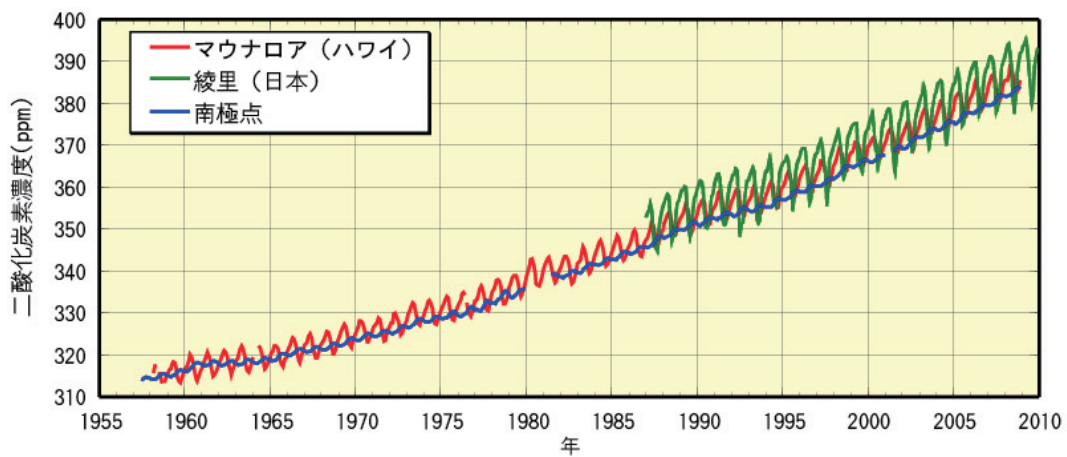


図 3.1-2 2008 年までの大気中の二酸化炭素濃度の経年変化

マウナロア、綾里および南極点における大気中の二酸化炭素月平均濃度の経年変化を示す。温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）および米国二酸化炭素情報解析センター（CDIAC）が収集したデータを使用した。

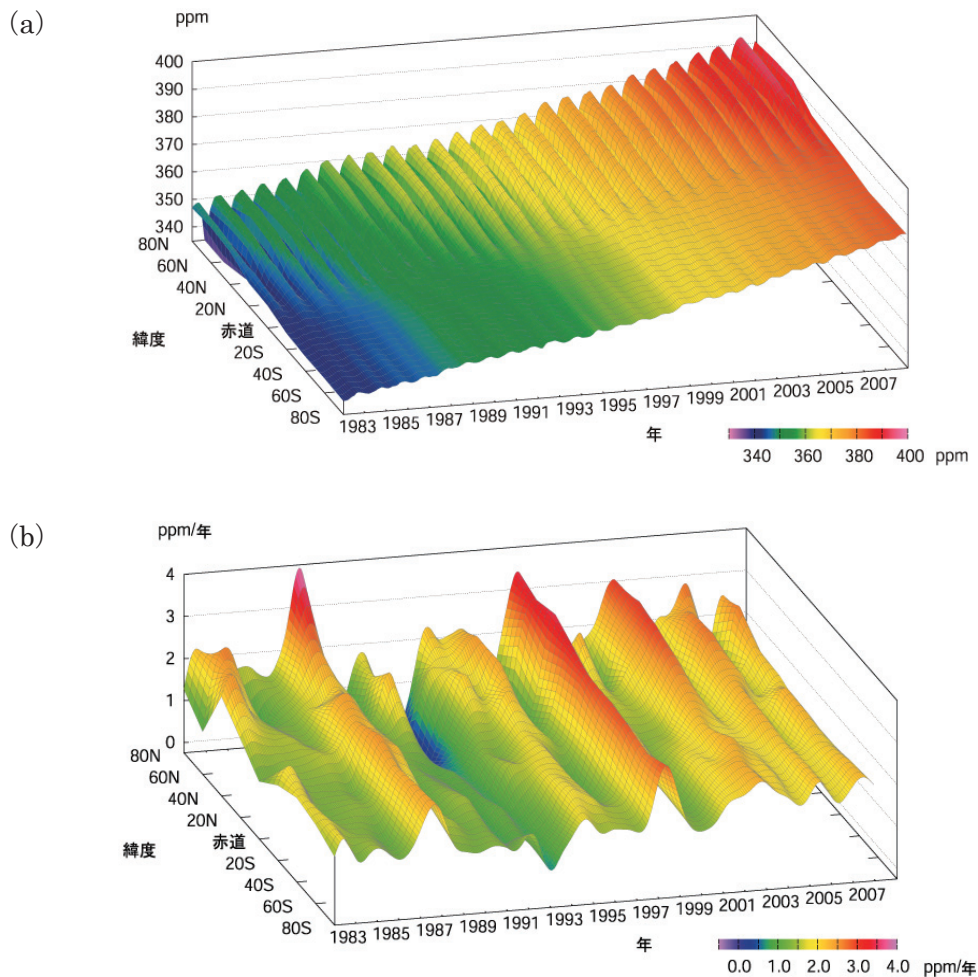


図 3.1-3 緯度帯別の大気中の二酸化炭素濃度 (a) と濃度年増加量 (b) の経年変化

WDCGG が収集した観測データから作成した緯度帯別に平均した大気中の二酸化炭素月平均濃度と濃度年増加量の経年変化を示す。

図 3.1-3 に、WDCGG が世界各地の観測所から報告された観測データにもとづいて解析した、緯度帯別の二酸化炭素濃度（上）、濃度年増加量の経年変化（下）を示す。相対的に北半球の中・高緯度帯の濃度が高く、南半球では濃度が低くなっている。これは、二酸化炭素の放出源が北半球に多く存在するためである。また、春から夏に減少し、夏から翌春にかけて増加する季節変化は、主に陸域生態系の活動(植物の光合成や土壌中有機物の分解)によるものである。季節変化の振幅は北半球中・高緯度ほど大きく、陸域の面積の少ない南半球では小さい。

図 3.1-4 に、国内 3 地点における大気中の二酸化炭素濃度と、季節変化より短い周期成分を取り除いた濃度（上）、濃度年増加量の経年変化（下）を示す。いずれの地点でも、植物活動の影響による季節変化を繰り返しながら、濃度は増加し続けている。綾里は与那国島や南鳥島（東京都小笠原村）に比べて高緯度に位置するため、陸上の植物活動の影響を受けやすく、季節変動が大きくなっている。また、与那国島と南鳥島はほぼ同じ緯度帯にありながら与那国島の濃度のほうが高い。これは、与那国島が大陸に近く、人為起源の排出の影響を受けやすいのに加え、植物の呼吸や分解によって大陸で濃度の高くなる秋から春に、大陸からの影響を強く受けるためである。2009 年の年平均濃度は、綾里で 389.7ppm、南鳥島で 388.0ppm、与那国島では 389.4ppm で、前年に比べ綾里で 1.2 ppm、南鳥島で 1.4 ppm、与那国島で 1.4 ppm いずれも増加し、観測開始以来の最高となった。

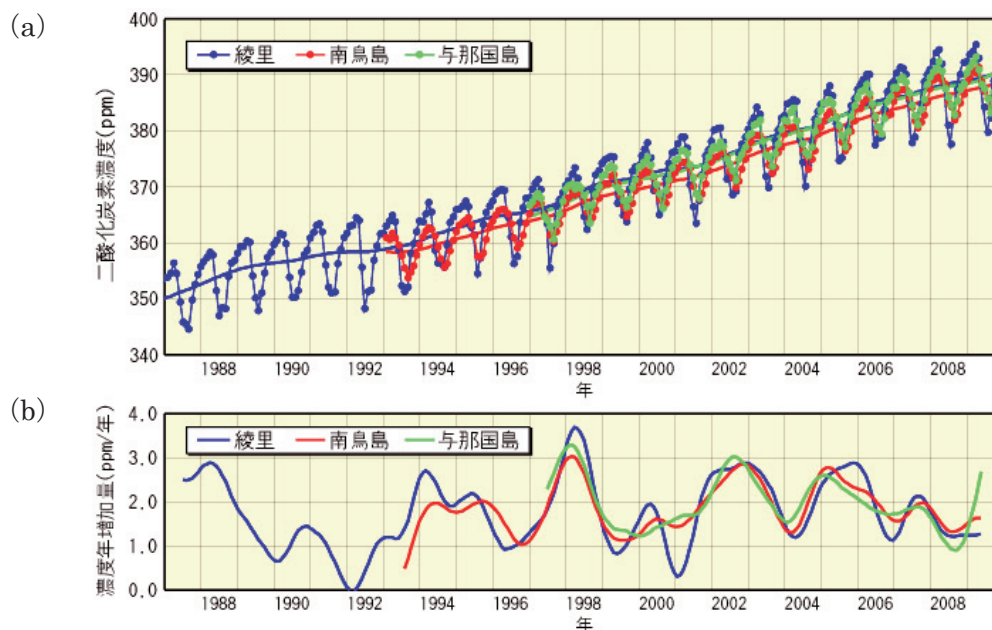


図 3.1-4 綾里、南鳥島および与那国島における大気中の二酸化炭素濃度(a)と濃度年増加量(b)の経年変化  
 綾里、南鳥島および与那国島で観測された、(a) 大気中の二酸化炭素月平均濃度（●）およびその季節変化成分を除いた濃度の経年変化（実線）と、(b) 濃度年増加量の経年変化を示す。

また、気象庁気象研究所と独立行政法人国立環境研究所は協力して、(財)日航財団、国土交通省、(株)日本航空の支援のもと、温室効果ガス観測の一環として、日本とオーストラリア間の定期航空便を利用して南北両半球太平洋上空 8~13km の大気分析を行っている。図 3.1-5 は、この観測で得られた 1993 年 4 月から 2008 年 12 月までの二酸化炭素濃度と濃度年増加量の緯度帯別の経年変化である。地上における観測と同様に、季節変化を繰り返しながら濃度が増加している。北半球上空でみられる季節変化は地上における季節変化を反映したものだが、振幅は地上より小さい。南半球上空の季節変化には濃度のピークが 2 度出現するなど複雑な変動がみられる。

ここまでに示したように、二酸化炭素濃度の濃度年増加量は一定ではない。世界的には、図 3.1-3 でみられるように、濃度年増加量は 1983 年、1987~1988 年、1994~1995 年、1997~1998 年、



2002～2003年、2005年に高まり、1992～1993年には大きく低下し、北半球高緯度では負の値になった。図 3.1-4 に示す国内観測所や図 3.1-5 に示す太平洋上空でも、これらに対応した変動がみられる。

1997年から1998年にかけてと2002年から2003年にかけての濃度年増加量の急激な増加とその後の減少は、1997/1998年、2002/2003年のエルニーニョ現象の発生に対応している。エルニーニョ現象は、東部赤道太平洋域で二酸化炭素を多く含んだ海水の湧昇を弱めるため、海洋から大気への二酸化炭素放出を弱めるが、反対に熱帯域を中心とした高温と少雨をもたらす、植物の呼吸や土壌有機物分解作用の強化および光合成活動の抑制によって陸上生物圏から大気への二酸化炭素放出を強める。全体としては後者の効果がまさるため、エルニーニョ現象に数か月遅れて、大気中の二酸化炭素濃度が増大することが知られている。1997～1998年の東南アジアなどに山火事や干ばつを頻発させた少雨や、1998年の世界的な記録的高温は、陸上生物圏から大気への二酸化炭素放出を強めたとみられる。

一方、1992～1993年は、エルニーニョ現象が発生した1991～1992年の後半と重なるが、濃度年増加量は大きく減少した。これは、1991年6月のピナトゥボ火山噴火の影響によって世界的な低温をもたらされ、陸上植物の呼吸低下及び海洋による二酸化炭素の吸収強化が起こったためである。また、2005年から2006年にかけては、エルニーニョ現象ではなくラニーニャ現象が起こったにもかかわらず、高い濃度年増加量が見られた。これは、化石燃料の消費による排出の増加に加えて、世界の平均気温が記録的に高く（北半球で2005年は過去最高、2006年は第3位）陸上生物圏から大気への二酸化炭素放出が強まったことも関係していると考えられる。

このように、二酸化炭素の濃度増加量の年々変動は、気候の年々変動がもたらす環境の変化が、炭素循環システムに大きな影響を与えているためであると解釈することができる。さらに、炭素循環の変動は温室効果を通して気候に影響を及ぼすため、将来の地球温暖化に対する予測精度を高めるためには、年々変動を含めた炭素循環システムの解明を進める必要がある。

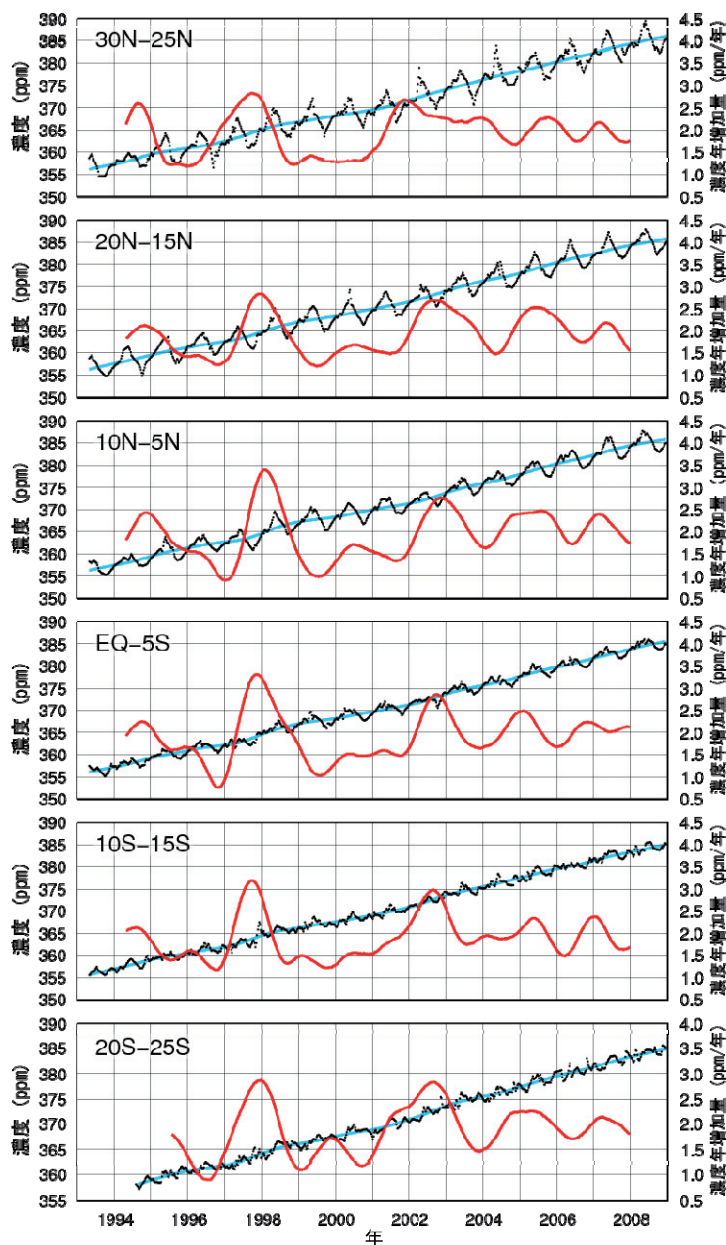


図 3.1-5 高度 8～13 km で観測された緯度帯別の二酸化炭素濃度と濃度年増加量の経年変化

プロットしたデータは、日本とオーストラリア間の定期航空便を利用し、高度 8～13 km で観測された二酸化炭素濃度である。青線は季節変化成分を除いた濃度変化、赤実線は濃度年増加量を示す。

### 1.1.2 メタン

メタンは二酸化炭素について地球温暖化に及ぼす影響が大きな温室効果ガスであり、湿地や水田、あるいは家畜および天然ガスの生産やバイオマス燃焼など、その放出源は多岐にわたる。メタンは、主に大気中の OH ラジカル（ラジカルとは非常に反応性が高く不安定な分子のこと）と反応し、消失する（大気中の寿命は約 9 年）。大気中のメタン濃度は 19 世紀初頭から長期的にみて増加を続けていた（図略）。2000 年頃からは濃度の増加量が減少し、継続的な増加はほぼ止まっていた。しかし、2007 年には 7ppb の全増加を示し 2008 年も同量の増加が見られた。WDCGG の解析では 2008 年の世界平均濃度は 1797 ppb で、1984 年以降で最高の濃度となった。この値は 18 世紀以前の平均的な値とされる 715 ppb と比べて 151%増加している。

図 3.1-6 に、WDCGG が世界各地の観測所から報告された観測データにもとづいて解析した、緯度帯別のメタン濃度と濃度年増加量の経年変化を示す。各緯度帯とも、濃度が季節変化を繰り返しながら年々増加している様子がみられる。北半球の中・高緯度帯から南半球に向かうにつれて濃度が急激に減少しており、その濃度減少は二酸化炭素より著しい。これはメタンの主な放出源が北半球陸域に多く、南半球に向かうにつれて、高い湿度と強い紫外線により豊富に生成される OH ラジカルと反応してメタンが熱帯海洋上で消滅するためである。

長期的なメタン濃度の増加傾向は、1980 年代に比べ 1990 年代に低下した。メタンの放出量は、農業や工業などの人間活動にともなって増加し、1980 年代までは濃度もそれにつれて大きく増加したが、近年は消失量と釣り合った状態に近いと考えられている。ただし、そのメカニズムはよくわかっていない。また、2007 年と 2008 年のやや高い増加量が今後続くのかも現段階では判断できない。引き続き見守っていく必要がある。

図 3.1-7 に国内 3 地点におけるメタン濃度と、その時系列データから季節変化やそれより短い周期成分を取り除いた濃度、および濃度年増加量の経年変化を示す。2009 年の年平均濃度は、綾里で 1878 ppb、南鳥島で 1822 ppb、与那国島では 1851 ppb で、前年に比べ、綾里で 2 ppb、南鳥島で 8 ppb、与那国島で 11 ppb と、いずれも増加し、観測開始以来の最高値となった。

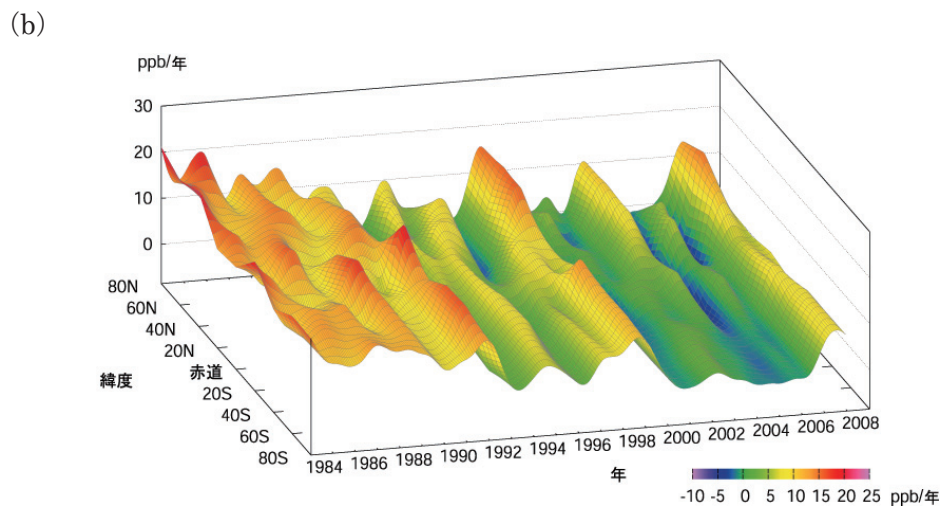
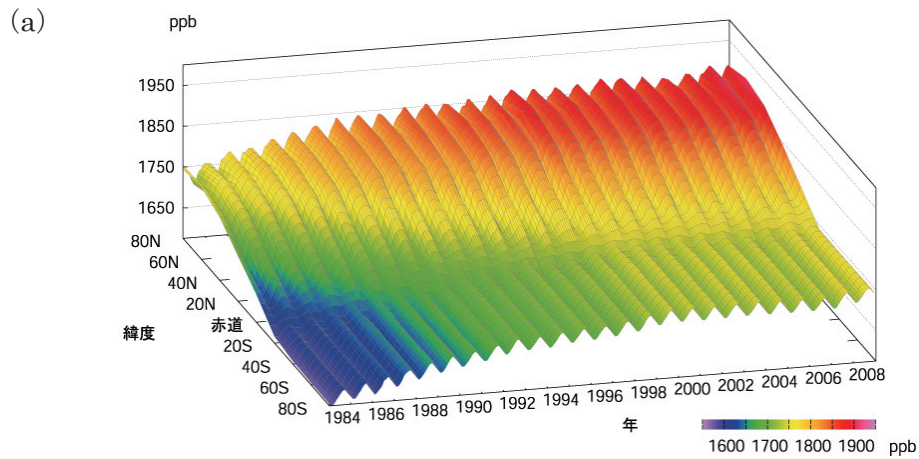


図 3.1-6 緯度帯別の大気中のメタン濃度(a)と濃度年増加量(b)の経年変化

WDCGG が収集した観測データから作成した緯度帯別に平均した大気中のメタン月平均濃度と濃度年増加量の経年変化を示す。

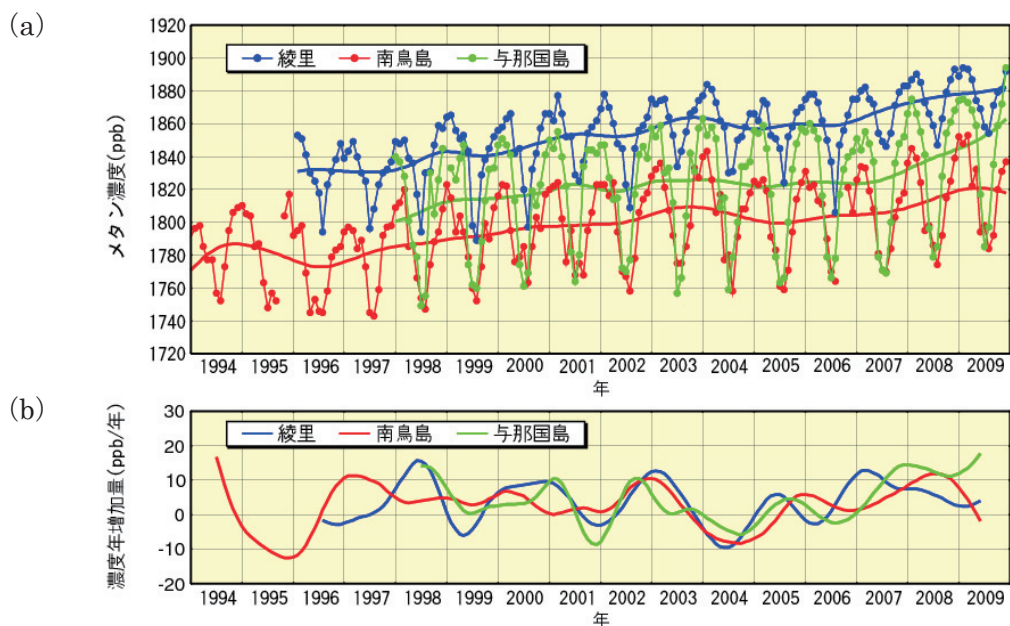


図 3.1-7 綾里、南鳥島および与那国島における大気中のメタン濃度(a)と濃度年増加量(b)の経年変化

綾里、南鳥島および与那国島で観測された大気中のメタン月平均濃度およびその季節変化成分を除いた濃度の経年変化と、濃度年増加量の経年変化を示す。

### 1.1.3 一酸化二窒素

一酸化二窒素は1分子あたり二酸化炭素の300倍の放射強制力を持つ温室効果の大きな気体であり、大気中の寿命が114年と長い。海洋や土壌から、あるいは窒素肥料の使用や工業活動にもなって放出され、成層圏で主に太陽紫外線により分解されて消滅する。

一酸化二窒素の大気中濃度は増加を続け、WDCGGによると2008年の世界平均濃度は321.8 ppbであった。これは、18世紀以前の平均的な値とされる270 ppbと比べると19%の増加となる。

綾里における一酸化二窒素濃度の経年変化を図3.1-8に示す。明瞭な季節変化は認められない。2009年の年平均濃度は323.9 ppbで、引き続き増加傾向にある。なお、2004年、2008年はじめに観測装置を更新している。

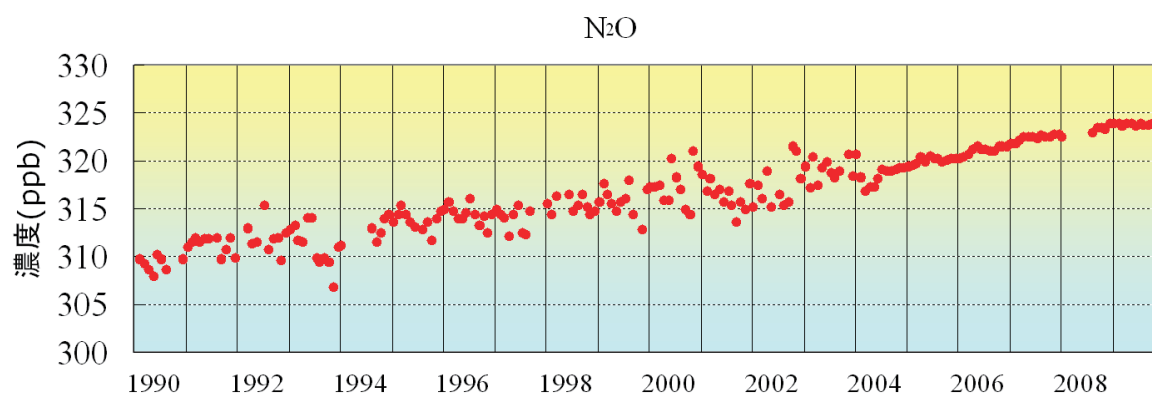


図 3.1-8 綾里における大気中の一酸化二窒素濃度の経年変化  
綾里における大気中の一酸化二窒素月平均濃度の経年変化を示す。

### 1.1.4 ハロカーボン類等

ハロカーボン類は、フッ素、塩素、臭素、ヨウ素を含んだ炭素化合物の総称であり、その多くは本来自然界には存在しない人工物質である。これらは温室効果ガスであるとともに、一部を除き成層圏オゾン破壊物質でもある。ハロカーボン類の大気中濃度は二酸化炭素に比べ100万分の1程度だが、単位質量あたりの温室効果が数千倍と大きいため、わずかな増加でも地球温暖化への影響は大きい。また、大気中の寿命が比較的長いことから、その影響は長期間に及ぶ。

この中で、主要なハロカーボンであるクロロフルオロカーボン類 (CFCs) は、フッ素、塩素を含む炭素化合物である。CFCs は「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」によりその生産等が規制されている。その結果、世界各地から WDCGG に報告された観測データによると、CFC-11 濃度は1993年頃を境に増加から緩やかな減少傾向に転じ、CFC-12 濃度は1990年頃から増加傾向が減少し始め、近年はほぼ変動がない。CFC-113 濃度は1996年頃までに増加が止まり、その後緩やかに減少している。

綾里における CFC-11、CFC-12 および CFC-113 濃度の経年変化を図3.1-9に示す。季節変化は認められない。CFC-11 濃度は、世界的傾向と同様、1993～1994年の約270 pptをピークとして減少傾向にある。CFC-12 濃度は1995年頃まで増加し、その後も緩やかに増加していたが、2005年頃をピークに減少している。CFC-113 濃度は2001年頃までにごく緩やかな増加が止まり、その後減少傾向がみられたが、近年はほとんど変化していない。2009年の年平均濃度はCFC-11が246ppt、CFC-12が537ppt、CFC-113が78pptであった。

一方、CFCsの代替物質として使用されているハイドロクロロフルオロカーボン類 (HCFCs) やハイドロフルオロカーボン類 (HFCs)、パーフルオロカーボン類 (PFCs) の濃度は増加を続けている。例えば、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) とモントリオール議定書の技術・経済評

価パネル (TEAP) による特別報告書 (「オゾン層及び気候システムの保護：ハイドロフルオロカーボン類とパーフルオロカーボン類に関連した問題」、2005 年) によれば、毎年 HCFCs は+3~+7%、HFC は+13~+17%の割合で増加している。また、世界気象機関 (WMO) の温室効果ガス年報第 5 号 (2009 年) によれば、電気絶縁体として使われている六フッ化硫黄 (SF<sub>6</sub>) の 2008 年の大気中濃度も、1990 年代半ばより倍増していることが指摘されている。モントリオール議定書策定時には規制対象ではなかった HFCs、PFCs、SF<sub>6</sub> は、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素とともに温室効果ガスとして、京都議定書において削減の対象となっている。

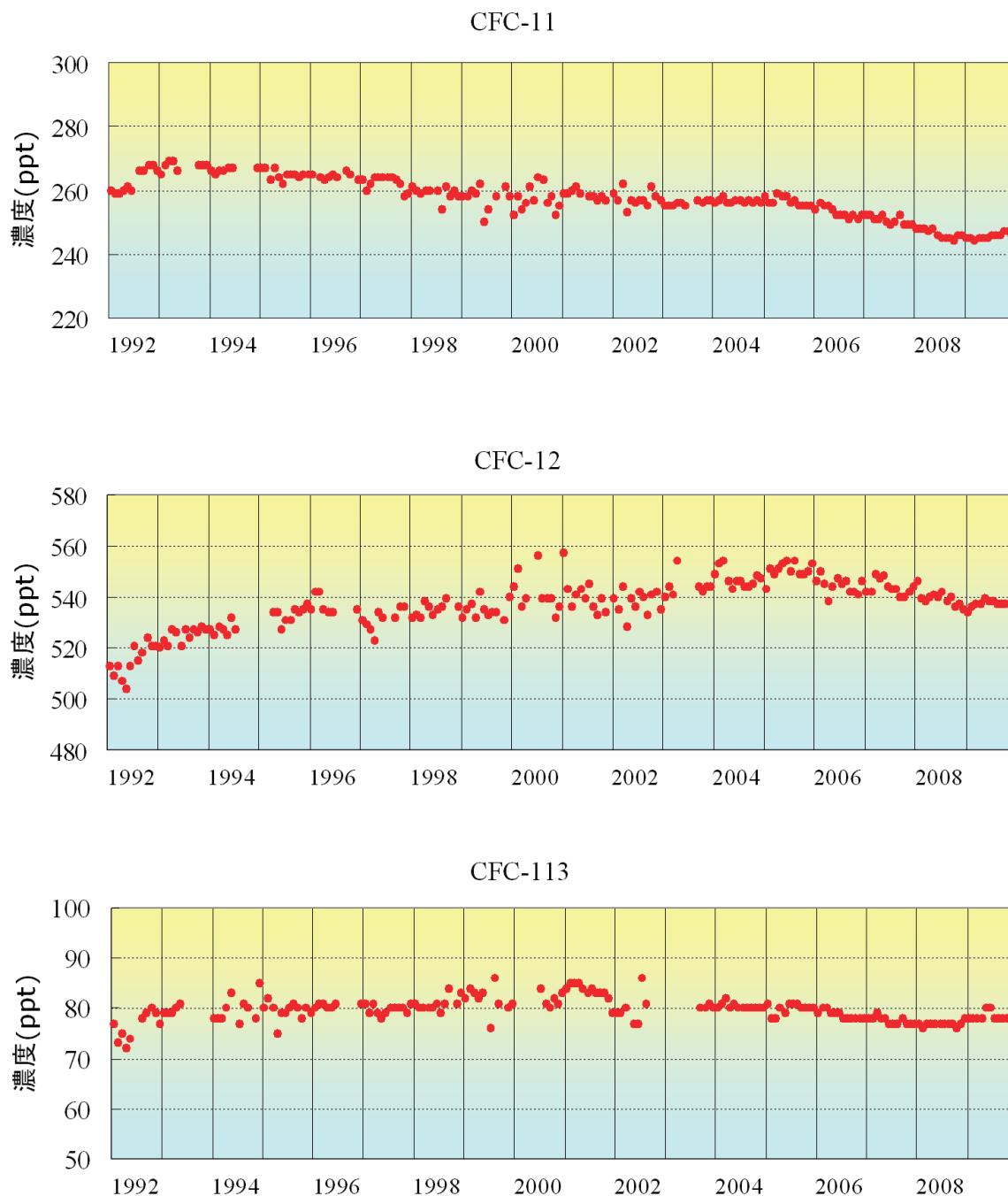


図 3.1-9 綾里における大気中のクロロフルオロカーボン類濃度の経年変化  
綾里における大気中の CFC-11 (上)、CFC-12 (中)、CFC-113 (下) の月平均濃度の経年変化を示す。

### 1.1.5 一酸化炭素

一酸化炭素は、化石燃料やバイオマスの不完全燃焼およびメタン等炭化水素類の酸化過程が主な放出源であり、大気中の OH ラジカルとの反応により消失する。一酸化炭素の大気中での寿命は 2～3 か月であり、放出源との関係により、濃度は空間的、時間的な変動が大きい。一酸化炭素は地球表面からの赤外放射をほとんど吸収せず、温室効果ガスではないが、対流圏オゾンの前駆物質（元になる物質）であるとともに、OH ラジカルとの反応を通してほかの温室効果ガス濃度に影響を与える。

WDCGG の解析による 2008 年の世界年平均濃度は約 91 ppb である。氷床コアの分析によれば、南極大陸では過去 2000 年間、一酸化炭素濃度は 50ppb 程度で大きな濃度変動がなく、グリーンランドでは 19 世紀半ばまでは 90ppb 程度であったものが 1950 年頃には 110ppb 程度まで増加した。

図 3.1-10 に、WDCGG が世界各地の観測所から報告された観測データにもとづいて解析した、緯度帯別の一酸化炭素濃度と濃度年増加量の 1992 年から 2008 年までの変化を示す。冬季から春季にかけて濃度が高く、OH ラジカルによる消散が盛んとなる夏季には濃度が低くなる季節変動が明瞭にみられる。また北半球中高緯度で濃度が高く、南半球では低い。これは、主な放出源が北半球中高緯度にあり、一酸化炭素は赤道域に運ばれるにつれてそこで豊富な OH ラジカルと反応して消滅し、濃度が減少するためと考えられる。

1997 年から 1998 年にかけて、赤道域から北半球中高緯度で濃度が一時的に上昇した。1997 年後半にはインドネシアで、また 1998 年夏から秋にかけてシベリアで大規模な森林火災が起こった。森林火災からは高濃度の一酸化炭素が放出されることが知られており、濃度増加はこれらの影響を受けていると考えられる。また、2002 年から 2003 年にかけても森林火災によるものとみられる赤道域から北半球中高緯度で濃度上昇があった。

図 3.1-11 に国内 3 地点における一酸化炭素濃度の経年変化を示す。各地点とも、冬から春に極大、夏に極小となる季節変化を示す。また、1997～1998 年に濃度の上昇がみられ、2002～2003 年にも 1997～1998 年ほど明瞭ではないが、濃度の増加傾向がみられる。これらは上述したように、インドネシアやシベリアでの森林火災と関係している可能性がある。2009 年の一酸化炭素年平均濃度は、綾里で 146 ppb、南鳥島で 105 ppb、与那国島で 144 ppb であり、前年に比べ綾里で 22 ppb、南鳥島で 1 ppb、減少した。与那国島の観測装置は 2008 年 1 月に更新されており、新旧観測装置の補正方法を現在調査中のため、過去との比較は行わない。

アジア域は一酸化炭素の大きな放出域として注目されており、近年の解析によると東アジア域だけで全世界の化石燃料からの放出量のおよそ三分の一を占めている。与那国島はアジア大陸のすぐ東に位置するため、ほぼ同緯度に位置する南鳥島よりもアジア域からの放出の影響をより受けているものと考えられる。また、2003 年以降冬季に与那国島での濃度が他の 2 地点に比べて高くなる傾向があるのも、大陸からの大気の流れと関連していると考えられる。

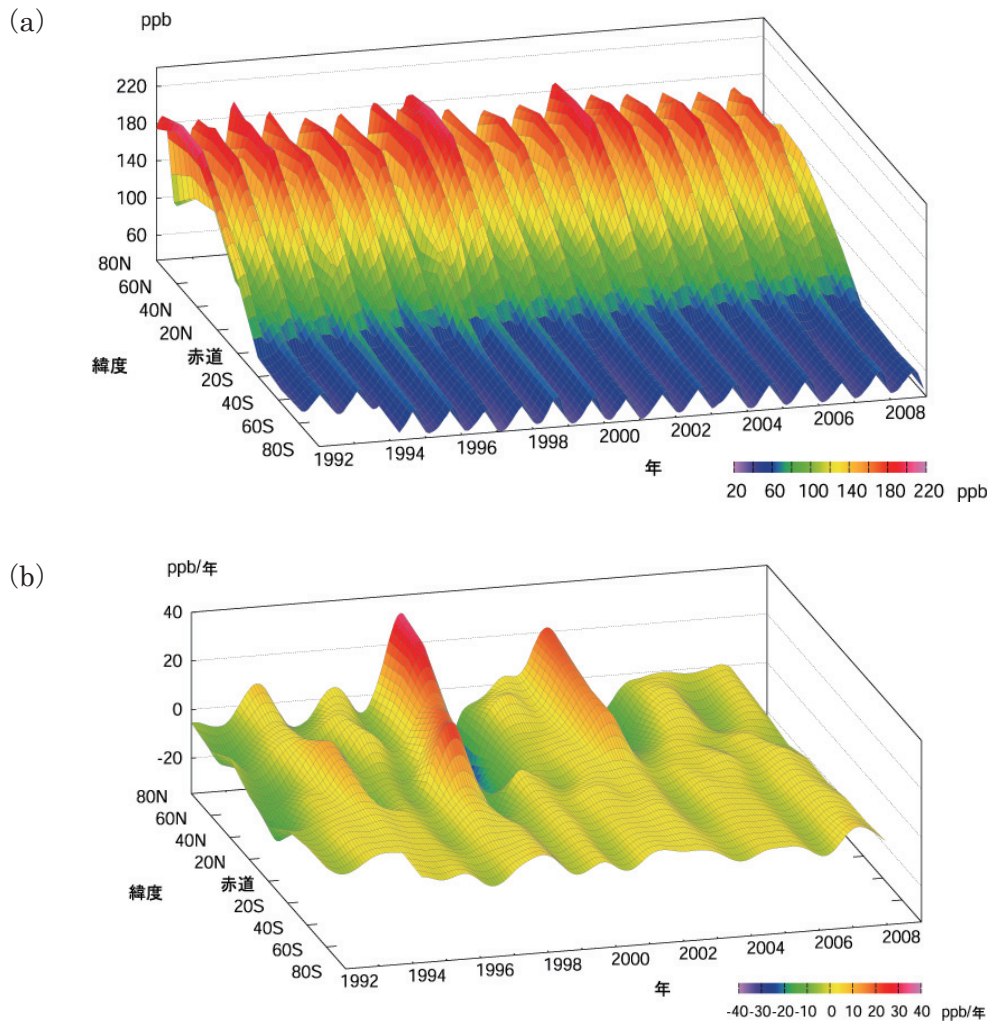


図 3.1-10 緯度帯別の大気中的一酸化炭素濃度(a)と濃度年増加量(b)の経年変化

WDCGG が収集した観測データから作成した緯度帯別に平均した大気中的一酸化炭素月平均濃度と濃度年増加量の経年変化を示す。

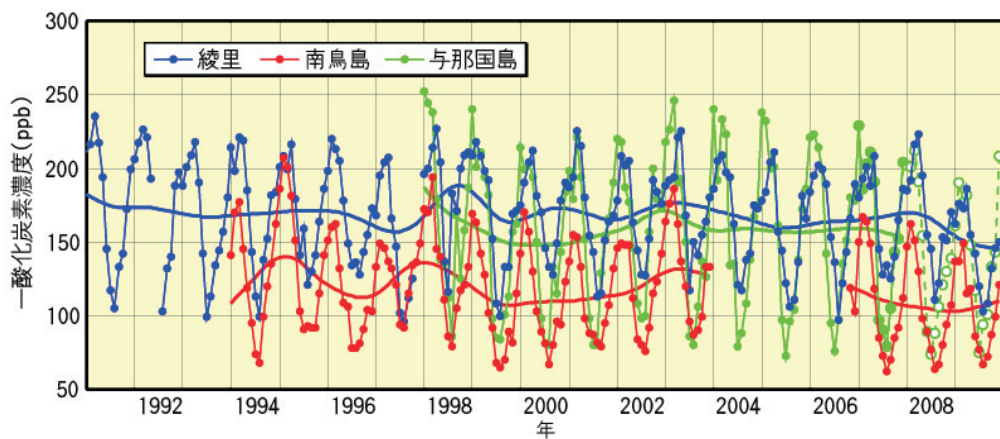


図 3.1-11 綾里、南鳥島および与那国島における大気中的一酸化炭素濃度の経年変化

綾里、南鳥島および与那国島で観測された大気中的一酸化炭素月平均濃度とその季節変化成分を除いた濃度の経年変化を示す。与那国島の観測装置は 2008 年 1 月に更新されており、新旧装置の間の補正方法を現在調査中のため、その期間のデータは白抜きで示している。(南鳥島では観測装置の不具合および台風の被害により 2004 年 1 月から 2006 年 10 月まで月平均濃度を算出していない。)

### 1.1.6 地上オゾン

大気中のオゾンは大部分が成層圏にあって、太陽から降り注ぐ紫外線を吸収することによって、地球上の生物を守る役割を果たしている。対流圏に存在するオゾンは、量としては地球上の全量の10%にも満たないが、高濃度のオゾンは目の刺激やのどの痛みなど人体への影響を及ぼすほか、植物を枯らすなどの被害をもたらす。そのため、オゾンを含むオキシダント濃度の環境基準は、1時間平均値が60 ppb以下と定められている。さらに、オゾンは紫外域だけでなく赤外域にも強い吸収帯があるため、温室効果ガスとしても働く。また、大気中のOHラジカルを生成する主要成分であり、例えばメタンなど対流圏におけるほかの温室効果ガスの濃度変化に大きく影響を及ぼす。

対流圏オゾンは、成層圏から輸送されてくるほか、自動車や工場から排出される一定濃度以上の窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)と一酸化炭素や炭化水素等が、太陽光による光化学反応を起こすことによって生成される。消滅は、水素酸化物(HO<sub>x</sub>: HO<sub>2</sub>およびOH)との反応や地面等との接触による。対流圏オゾンは反応性が高いことから、その濃度は地域、高度、時期によって大きく異なり、その長期的変動を把握するためには、人間活動の影響が少ない、都市域から離れた遠隔地域で観測を行う必要がある。

図3.1-12に対流圏オゾンの中で地表付近の濃度をあらわす地上オゾン濃度の国内3地点における経年変化を示す。各地点とも冬または春に極大、夏に極小となる季節変化を示す。これは、夏季は水蒸気量の増加により、オゾンを減少させるOHラジカルが増加するためと考えられている。また、同じ緯度帯にある二つの観測地点の中で、与那国島は南鳥島より濃度が高い。中国東部における観測では、月平均濃度の極大が秋にあり、長江デルタ地帯では60 ppbを超える。与那国島の濃度は秋から春には綾里より高く、中国大陸からのこのようなオゾン濃度の高い空気塊の影響を受けていると考えられる。2003年、2004年および2005年春季の与那国島および綾里における高濃度は、大陸からの空気塊の流入と関連していると考えられる。2009年の年平均濃度は綾里で41 ppb、南鳥島で24 ppb、与那国島では39 ppbであった。前年に比べて、綾里で2 ppbの増加、南鳥島で2 ppbの減少、与那国島で1 ppbの増加であった。南鳥島の2009年の濃度は、1994年の観測以来の最低年平均濃度となった。

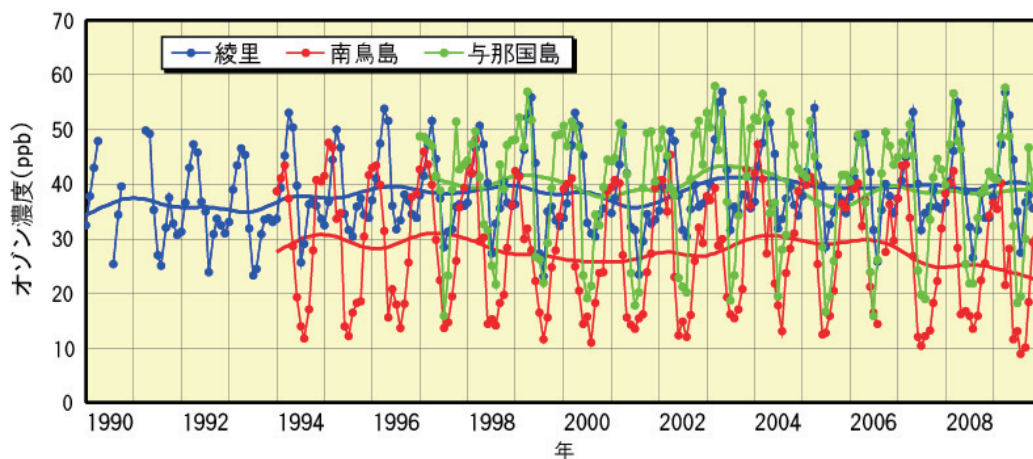


図 3.1-12 綾里、南鳥島および与那国島における地上オゾン濃度の経年変化

綾里、南鳥島および与那国島で観測された地上オゾン月平均濃度とその季節変化成分を除いた濃度の経年変化を示す。



## 1.2 海洋の二酸化炭素

人間活動によって大気中に放出された二酸化炭素のうち、海洋に吸収される量を把握することは、大気中の二酸化炭素濃度の将来予測、さらにはその結果にもとづいた地球温暖化の予測にとって重要な課題である。海洋全体では毎年約 20 億トン（炭素換算）の二酸化炭素を吸収していると見積もられている（IPCC 第 4 次評価報告書、2007）。しかし、二酸化炭素の吸収量は海域、季節あるいは年ごとに大きく異なっている。たとえば、気象庁の観測によれば太平洋の赤道域では西部と東部で二酸化炭素の吸収量は大きく異なり、時期によって吸収域となったり放出域となったりする海域もある。このように海域や季節あるいは年ごとで吸収・放出の状況が一様でないことが、海洋による大気中の二酸化炭素吸収量の見積もりにおける不確実性を大きくしている。この不確実性を小さくするためには、海域別・季節別の二酸化炭素の吸収量・放出量の見積もりを観測に基づいて行わなければならない。

気象庁では海洋気象観測船凌風丸および啓風丸によって、亜寒帯から赤道域にいたる北西太平洋で、海水中および大気中の二酸化炭素濃度の観測を定期的実施している。海水中および大気中の二酸化炭素濃度は、海水および大気試料をポンプで船内に引き込み、観測室内に設置した装置で航行中に連続的に観測している。図 3.1-13（右）に、2009 年冬季、春季、夏季および秋季の二酸化炭素観測結果を、表面海水中の二酸化炭素分圧の大気中の二酸化炭素分圧に対する差として示す。表面海水中と大気中の二酸化炭素分圧は、それぞれの二酸化炭素濃度、大気圧および飽和水蒸気圧を用いて計算される。表面海水中と大気中の二酸化炭素分圧の差が正である海域では二酸化炭素を海洋から大気へ放出、負である海域では大気から海洋へ吸収している。北西太平洋はおおむね二酸化炭素の吸収域となっているが、赤道域の冬季、夏季および亜熱帯域の夏季に放出域が出現した。

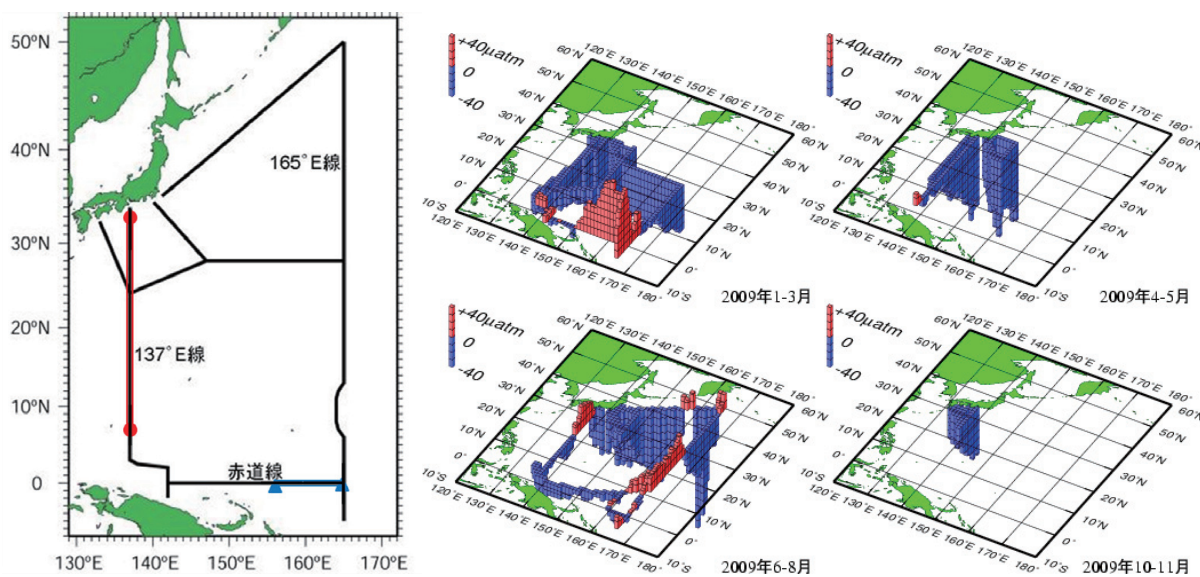


図 3.1-13 （左図）海洋気象観測船の観測線 （右図）2009 年冬季（1～3 月）、春季（4～5 月）、夏季（6～8 月）、秋季（10～11 月）の二酸化炭素観測結果

表面海水中の二酸化炭素分圧の大気中の二酸化炭素分圧に対する差（単位は  $\mu$  atm）。

二酸化炭素の海洋から大気への放出域を赤、大気から海洋への吸収域を青であらわしている。

図 3.1-14 に、東経 137 度線上の北緯 7～33 度（図 3.1-13 左図中の赤線部分）で平均した冬季の表面海水中および大気中の二酸化炭素濃度の経年変化を示す。この海域では、冬季には表面海水中の二酸化炭素濃度が大気中の濃度より低く、海洋が大気中の二酸化炭素を吸収している。1984～2009 年の大気における二酸化炭素濃度の増加率は、 $1.7 \pm 0.1$  ppm/年であり、表面海水中の二酸化炭素濃度の増加率は、 $1.5 \pm 0.2$  ppm/年であった。

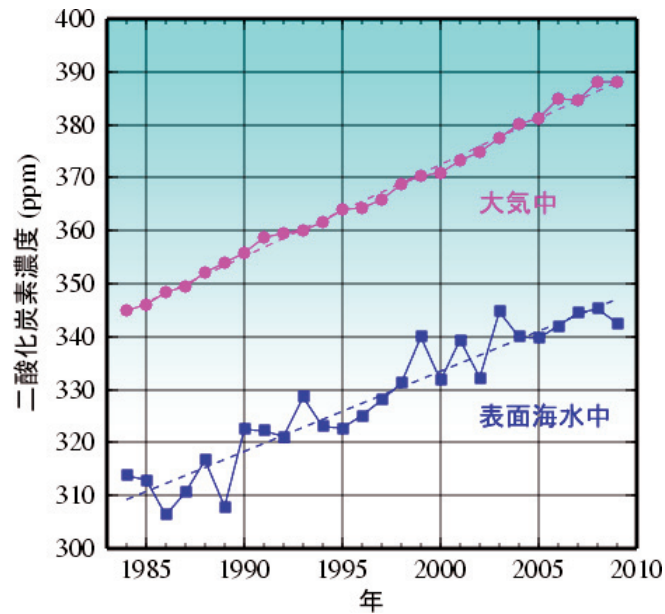


図 3.1-14 東経 137 度線上の冬季（1～2 月）の表面海水中と大気中の二酸化炭素濃度の経年変化（北緯 7～33 度の航走中連続観測データの平均値、1984～2009 年）

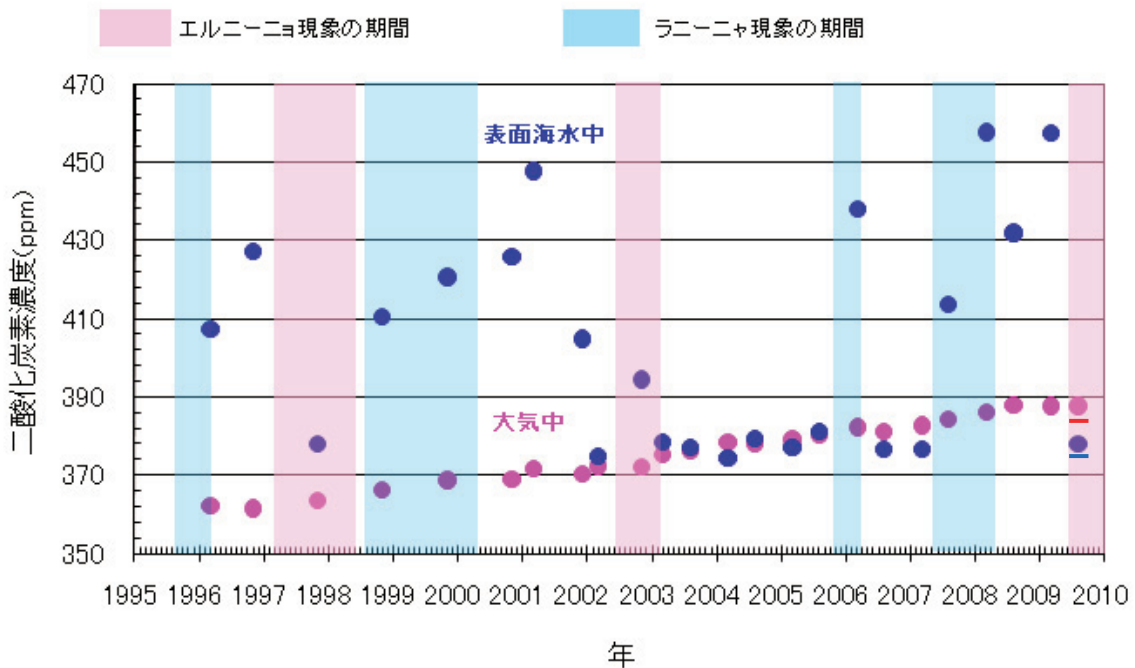


図 3.1-15 太平洋西部の赤道域の表面海水中（青線）および大気中（赤線）の二酸化炭素濃度の経年変化（東経 156～165 度の航走中連続観測データの平均値、1996～2009 年、ただし、図中下線を付した 2009 年夏季は東経 159.5～165 度の平均値）

エルニーニョ現象の期間を薄赤、ラニーニャ現象の期間を薄青であらわしている。

図 3.1-15 に、太平洋西部赤道域の東経 156～165 度（図 3.1-13 左図中の青線部分）で平均した表面海水中および大気中の二酸化炭素濃度の経年変化（ただし、2009 年夏季のみ東経 159.5～165 度）を示す。一般に、太平洋赤道域の東部は湧昇によって二酸化炭素濃度が高く、西部の暖水域は東部と比較して二酸化炭素濃度が低くなっており、湧昇域と暖水域の境界が東西に移動することが太平洋西部の赤道付近の表面海水中の二酸化炭素濃度が変動する主な原因とされている。太平洋西部赤道域では、2007 年春季～2008 年春季のラニーニャ現象の発生期間には表面海水中の二酸化炭

素濃度が高かった。ラニーニャ現象終息後も 2009 年の冬季までは表面海水中の二酸化炭素濃度の高い状態は継続した。その後、2009 年夏季には大気と同程度の濃度にまで低下した。この 2009 年冬季から夏季にかけての変動は、東風（貿易風）が弱まって湧昇域と暖水域の境界が東方に移動したためと考えられる。つまり湧昇域と暖水域の境界が 2009 年冬季までは東経 156 度よりも西側にあり、観測範囲は湧昇域の性質を持った表面海水で占められていた一方、2009 年夏季になると、境界は東経 165 度より東側となり観測範囲（東経 159.5～165 度）は、暖水域の性質を持った海水で占められたためと考えられる。

東経 137 度線や東経 165 度線等の観測データの解析から、北西太平洋亜熱帯域では表面海水中の二酸化炭素濃度と海面水温とが高い正の相関をもつことがわかっている。この相関を利用して、観測が行われていない時期および海域の表面海水中の二酸化炭素濃度を推定し、大気中の二酸化炭素濃度の観測結果とあわせて大気－海洋間の二酸化炭素分圧差を計算した。さらに、この解析値と海上の風速の月平均値から求められるガス交換係数を用いて、大気－海洋間の二酸化炭素交換量を月単位で計算した。図 3.1-16 に、北西太平洋亜熱帯域（北緯 11～30 度、東経 130～165 度）で正味の二酸化炭素交換量の、1996 年から 2008 年までの季節変動（上）および年間積算値（下）の経年変動を示す。ここでは正味の交換量が海洋から大気へ放出される場合を正、大気から海洋へ吸収される場合を負、であらわしている。この海域は夏季に二酸化炭素の放出域となり冬季に二酸化炭素の吸収域となるが、冬季の吸収量が夏季の放出量を上回るため、年間で積算すると二酸化炭素の吸収域となっている。上記期間におけるこの海域での二酸化炭素の年間の吸収量は、炭素の重量に換算して、0.27～0.83（平均 0.63）億トンであり、2008 年は 0.61 億トンであった。この海域の面積は全海洋の 2.6% を占めるが、年間の吸収量の平均値は世界規模でみたときの海洋の吸収量（2000～2005 年の平均で炭素換算 22 億トン＝22 億トン炭素）の約 2.8% に相当する。

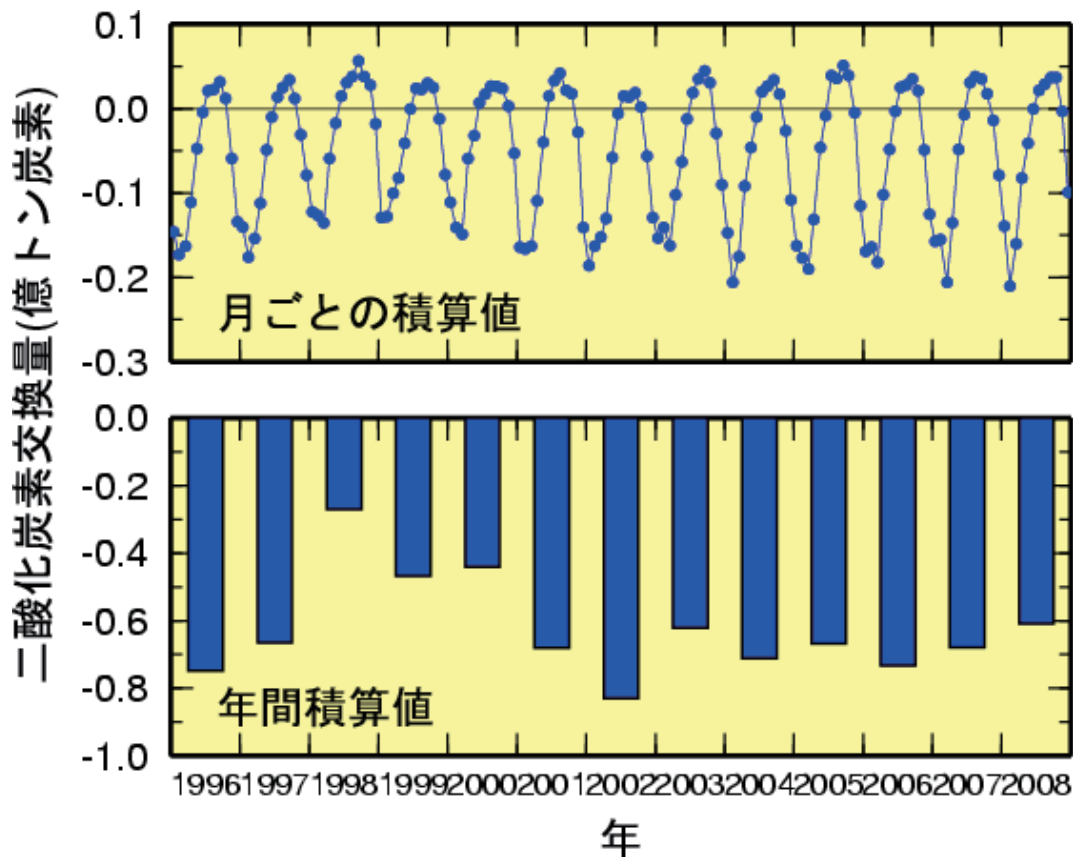


図 3.1-16 北西太平洋亜熱帯域（北緯 11～30 度、東経 130～165 度）における大気－海洋間の正味の二酸化炭素交換量の (a) 月ごとの積算値および (b) 年間積算値（1996～2008 年）

単位は炭素に換算した重量（億トン炭素）で、海洋から大気への放出を正としている。

### 1.3 エロゾル

大気中に浮遊するちりなどの微粒子をエロゾルという。エロゾルは、太陽放射を散乱・吸収して地上に到達する日射量を減少させることで、気温を低下させる効果をもつ一方で、地球からの赤外放射を吸収・再放射するという保温効果ももっている。また、すす（黒色炭素）の増加は太陽放射を吸収し大気を暖める。さらに、これら直接効果のほかに、雲粒の核となる微粒子（雲核）として雲の性状（雲粒の数や粒径分布）を変化させることで、地球の放射収支を変えるという間接効果もある。これら相反する複数の効果が絡むため、エロゾルの増減がどの程度気候に影響するかを量的に評価することは難しいが、エロゾルが増えると地球全体の気温が下がると考えられている。

#### 1.3.1 直達日射観測による大気混濁係数の経年変化

気象庁は全国4地点（図3.1-1）において、太陽から地表面に直接入射するエネルギー（直達日射量）を観測している。直達日射量からは大気混濁に関する指標であるホイスナー・デュボアの混濁係数を算出することができる。ホイスナー・デュボアの混濁係数（以下、「混濁係数」）は、エロゾルのほか、水蒸気・オゾン・二酸化炭素等の日射の散乱・吸収に寄与する種々の物質を含む現実の大気の光学的厚さ（日射に対する大気不透明さ、濁り具合）が、酸素や窒素などの空気分子のみが存在すると仮定した大気の光学的厚さの何倍であるかをあらわしている。つまり混濁係数が大きいほど大気を濁す物質が多いことを示している。

1960～2009年について、季節変化およびそれより短い周期成分を除いた混濁係数の変動を図3.1-17に示す。ここでは、日々大きく変動する水蒸気や黄砂の影響を除くため、混濁係数の月最小値を用いて全地点の平均値を求め、年平均値を算出している。1963年から数年継続しているやや高い値と1982～85年と1991～93年にみられる極大は、それぞれ1963年2～5月のアグン火山噴火（インドネシア）、1982年3～4月のエルチチオン火山噴火（メキシコ）、1991年6月のピナトゥボ火山噴火（フィリピン）によって硫酸塩エロゾルの生成につながる二酸化硫黄が成層圏に大量に注入され、成層圏が長期間にわたって混濁した結果である。ピナトゥボ火山噴火以降は大規模な火山噴火が発生していないため、日本における混濁係数はアグン火山噴火前のレベル付近まで戻っている。

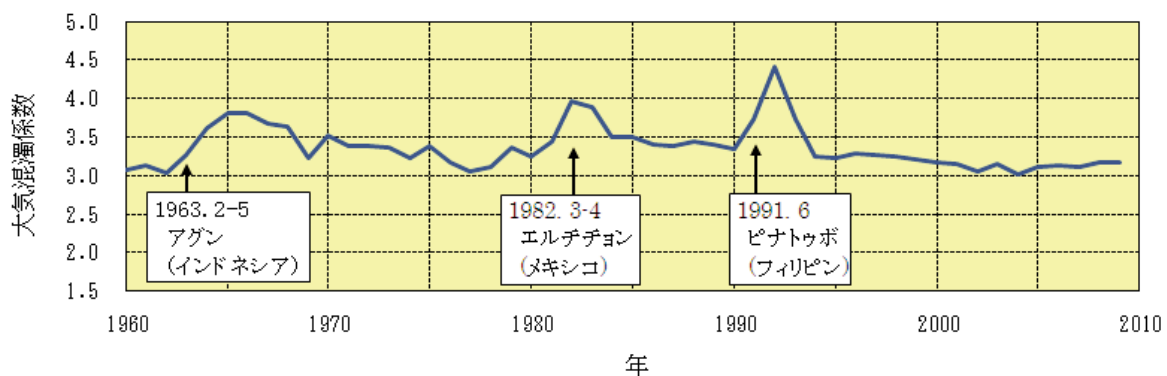


図3.1-17 混濁係数の経年変化（1960～2009年）

水蒸気や黄砂の影響を取り除くため、全国4地点の月最小値を平均したものを年平均した。

### 1.3.2 サンフォトメータ観測によるエアロゾル光学的厚さ

気象庁では国内3地点（綾里、南鳥島、与那国島）でサンフォトメータを用いて波長別にエアロゾル光学的厚さの観測を行っている。図3.1-18に、それぞれの観測地点における1998～2009年のエアロゾル光学的厚さの月平均値の経年変化を示す。

綾里ではエアロゾル光学的厚さが春季に極大、冬季に極小になる。極大の原因として、春季に大陸から飛来する黄砂などによる影響がある。なお、春季は日本全域でアジア大陸の大気汚染によるエアロゾルが黄砂と同程度の影響を与えているとする研究もあり、春季の極大では、これらが重なり合っている可能性がある。2003年5月にエアロゾル光学的厚さが例年の約2倍になっているのは、シベリアでの森林火災の煙による影響である。これについては、気象庁「気候変動監視レポート2003」で詳しい解説を行った。また、2006年の春季の大きなエアロゾル光学的厚さは、大規模な黄砂の影響によるものである。

南鳥島では、ほぼ年間を通して綾里や与那国島よりもエアロゾル光学的厚さが小さい。これは、陸起源エアロゾルの発生源であるアジア大陸から遠いためと考えられる。しかし、他の季節に比べるとアジア大陸の影響を受けやすい春季で平均した南鳥島のエアロゾル光学的厚さは、ハワイの年平均値よりはるかに大きくなっており、黄砂や大気汚染の長距離輸送の影響も示唆される。また、南鳥島では500nmと862nmのエアロゾル光学的厚さの差が綾里や与那国島に比べて小さいことが多い。これは綾里や与那国島と比べて、エアロゾルの中で粒径が大きい部類に入る海塩エアロゾルが相対的に多いことを示している。南鳥島のエアロゾル光学的厚さは、春季に極大、秋季に極小をとることが多い。

与那国島ではエアロゾル光学的厚さは、春季に極大となり、夏季から秋季にかけて極小となっている。春季に極大になるのは綾里と同様、大陸から黄砂や汚染大気および森林火災の煙などのエアロゾルが運ばれるためと考えられるが、混濁の程度は綾里より大きい。

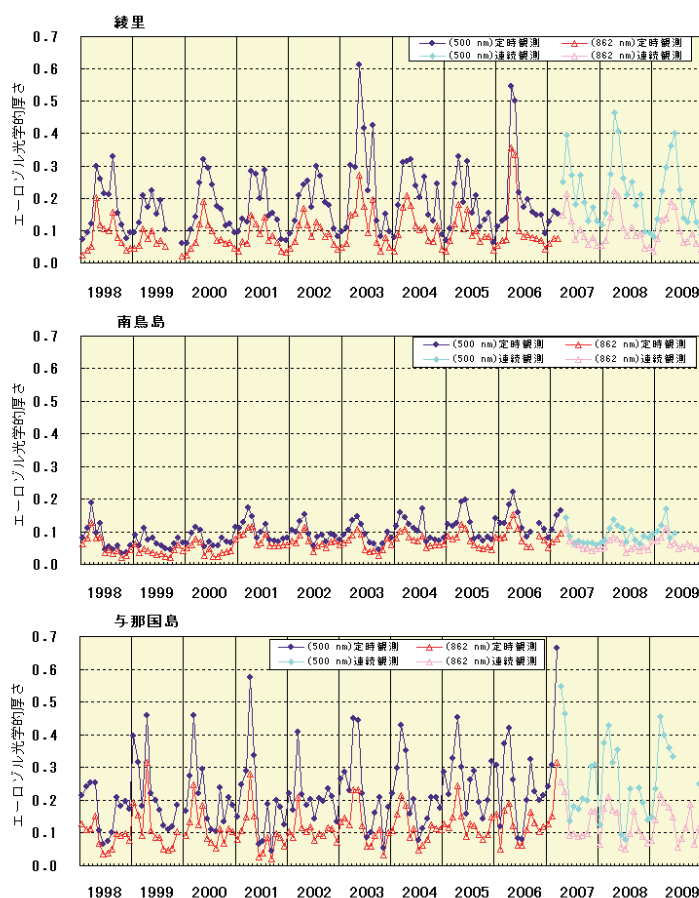


図 3.1-18 綾里、南鳥島、与那国島における1998～2009年の波長500nmと862nmのエアロゾル光学的厚さ  
2007年3月までは1日3回の定時観測値の集計で、それ以降は連続観測値を集計している。

### 1.3.3 ライダー観測によるエアロゾルの鉛直分布

ライダー（レーザーライダー）は、レーザー光を上空に向けて発射し、大気分子やエアロゾルによって後方に散乱された光を望遠鏡で受信することで、エアロゾル濃度に相当する量の鉛直分布を観測する装置である。また散乱される光の特性の違いを利用して、硫酸塩エアロゾルのような比較的丸いエアロゾルと黄砂のような角張ったエアロゾルを区別することができる。気象庁では、岩手県大船渡市綾里の大気環境観測所で観測している。

黄砂や硫酸塩エアロゾル、すすなどの対流圏エアロゾルは、気候変動に対して大きな影響を与える。一方、火山噴火により火山灰やガスが成層圏に大量に注入されると、成層圏エアロゾルとして数年の期間にわたって気候に影響する。空間的にも時間的にも、また発生源も大きく変動するエアロゾルの把握は、気候の監視や地球温暖化の予測精度を上げるために重要であり、ライダーはその動態を明らかにするための有効な観測手段となっている。

図 3.1-19 に 2008 年 12 月から 2009 年 11 月までの間を 3 か月ごとに平均したエアロゾルの鉛直分布を示す。成層圏（季節によっても異なるが、おおむね高度 10 km 以上）のエアロゾルの量は、対流圏と比較して極めて少ない。対流圏内のエアロゾルの量は変動が大きい、地面に近づくほど多くなっている。これらは、エアロゾルの発生源が主に地面付近に存在していることによる。春季（3～5 月）は、ほかの季節に比べて特に対流圏中層のエアロゾルの量が多い。これらは主に、大陸から飛来する黄砂によるものである。

2009 年冬季に、高度 8km～20km で観測されたエアロゾルは、2008 年 8 月にアリューシャン列島のカサトチ火山が噴火した影響と考えられる。夏季および秋季に、高度 15km～20km の間で極大が見られるが、これは 2009 年 6 月に千島列島のサリチェフ火山が噴火し、この噴火によって発生したエアロゾルがこの高度に達したものと考えられる。

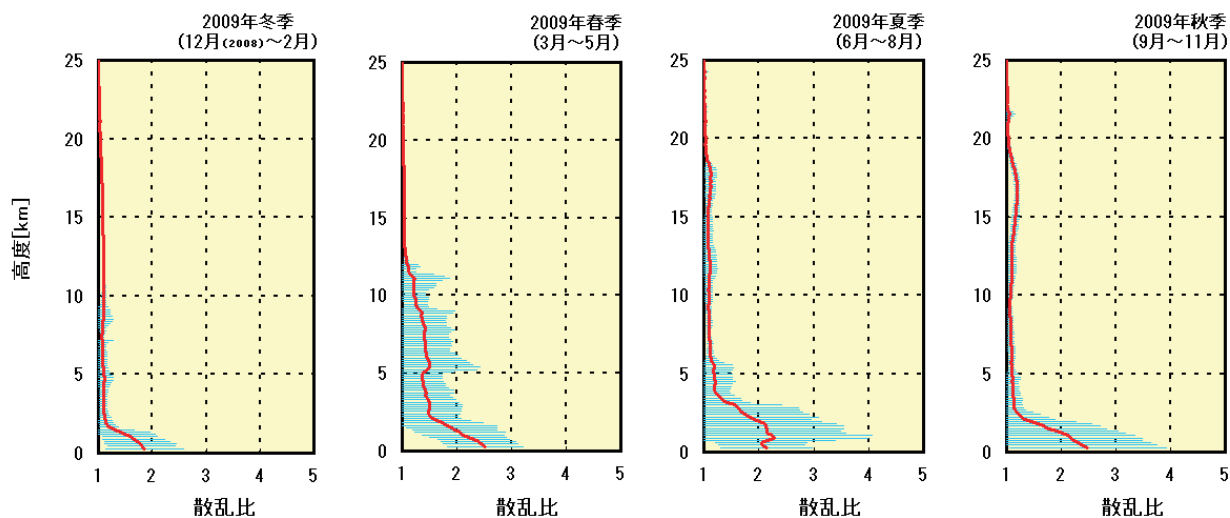


図 3.1-19 綾里における 2009 年のエアロゾルの鉛直分布 3 か月平均値（冬、春、夏、秋）

実線は晴天時に波長 532nm のライダーで測定した散乱比（エアロゾルの濃度に相当する量）の 3 か月平均値。その両側の青い影は標準偏差の範囲を示す。

## 第2章 オゾン層および紫外線の状況

大気中のオゾンは成層圏（高度 10～50km）に多く存在し、このオゾンの多い層をオゾン層と呼んでいる。オゾン層は太陽からの有害な紫外線を吸収し、地上の生態系を保護している。南極域の上空では、9月から11月にかけて成層圏のオゾンが著しく少なくなる現象が1980年代初めから毎年現れるようになった。この現象はオゾンホールと呼ばれている。南極域でのオゾンホールの出現には、南極大陸の影響をうけた南極域特有の気象条件や一日中太陽が沈んだ状態が続く極夜の時期があることが大きく関わっている。しかし、オゾンホール出現の主因は、クロロフルオロカーボン類（CFCs）等の人工物質の存在である。これらの物質は、化学的な安定性、不燃性、無毒性等の特性により、洗浄剤、噴射剤、冷媒、消火剤等に広く利用されてきた。これらは、その化学的安定性から対流圏ではほとんど分解されないが、徐々に成層圏へと広がり、そこで分解して塩素を放出する。この塩素がオゾンを破壊する原因であることが明らかになっている。オゾンホールに代表されるオゾン層の破壊は南極域だけではなく、赤道付近を除く両半球で確認されている。

一般的なオゾン層破壊のメカニズムは次のとおりである。塩素を含むクロロフルオロカーボン類が成層圏の高度およそ40kmまで達すると、太陽からの紫外線により光解離（光のエネルギーで分解されること）し、塩素原子を放出する。この塩素原子は成層圏内を運ばれながらまわりのオゾンと反応してオゾンを破壊し（酸素原子1個を奪って酸素分子に変える）、続いて酸素原子やその他の分子との反応によってふたたび塩素原子に戻るといった反応を繰り返すことにより、オゾンを次々と破壊していく。

この章では、世界全体、日本上空、南極域上空に分けて、オゾン層の2009年の状況および長期変化傾向、ならびに紫外線の地上到達量の状況について述べる。オゾン層および紫外線の状況を説明するために、国内および南極昭和基地で観測されたオゾンデータ、紫外線データおよび衛星による観測データを用いている。また、2009年の状況を表現するのに、基準となる月別平均値からの差が標準偏差以内のときを「並」、それより大きいときを「多い」、それより小さいときを「少ない」としている。月別平均値と直接比較するときは、「多め」「少なめ」と表現している。成層圏以外の地上近くのオゾンの状況に関しては、第3部第1章1.1.6で詳しく述べる。

### 2.1 オゾン層

#### 2.1.1 世界全体のオゾン層

地上観測及び衛星観測にもとづく世界のオゾン全量の偏差（%）の推移を図3.2-1に示す。オゾン全量は1980年代から1990年代前半にかけて大きく減少した。その後、1990年代半ば以降はほぼ変化がないかわずかに増加傾向となっているものの、現在も少ない状態が続いている。地上観測データによれば、オゾン層の破壊が進んだ1980年代の直前である1979年を基準とした場合、2009年のオゾン全量は世界平均で約 $2.3 \pm 0.1\%$ 少ない状態である。クロロフルオロカーボン類（CFCs）の大気中濃度は、1990年代半ば以降ほとんど増加していないか緩やかに減少しており（第3部第1章1.1.4節参照）、オゾン全量の減少が1990年代半ば以降緩やかになったことに関係していることが示唆される。ただし、北半球中緯度については、オゾン全量の近年の増加傾向は、地球規模の大気循環の変動による寄与が大きいとする研究もある。

衛星観測にもとづく、オゾン全量の長期変化傾向の分布を図3.2-2に示す。世界的に減少しているが、中・高緯度で減少が大きく、低緯度では減少が小さいことがわかる。北半球中緯度では、1979年を基準とした場合、2009年のオゾン全量は平均して4～5%少ない状態である。

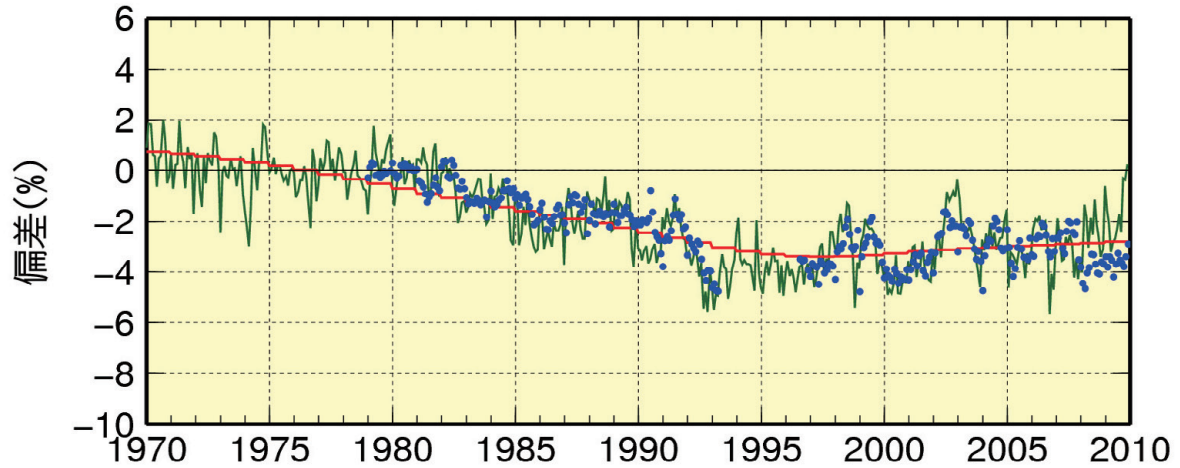


図 3.2-1 世界のオゾン全量の偏差(%)の推移

実線(緑)は世界の地上観測によるオゾン全量の偏差(%)。実線(赤)は EESC フィッティング曲線(用語一覧参照)。  
 ●印は衛星観測データ(北緯 70 度～南緯 70 度)によるオゾン全量の偏差(%)。比較の基準は 1970～1980 年の平均とした。観測データからは、季節変動、太陽活動、QBO の影響を除去している。使用した地上観測点数は 63 地点(北半球は 54 地点、南半球 9 地点)である。

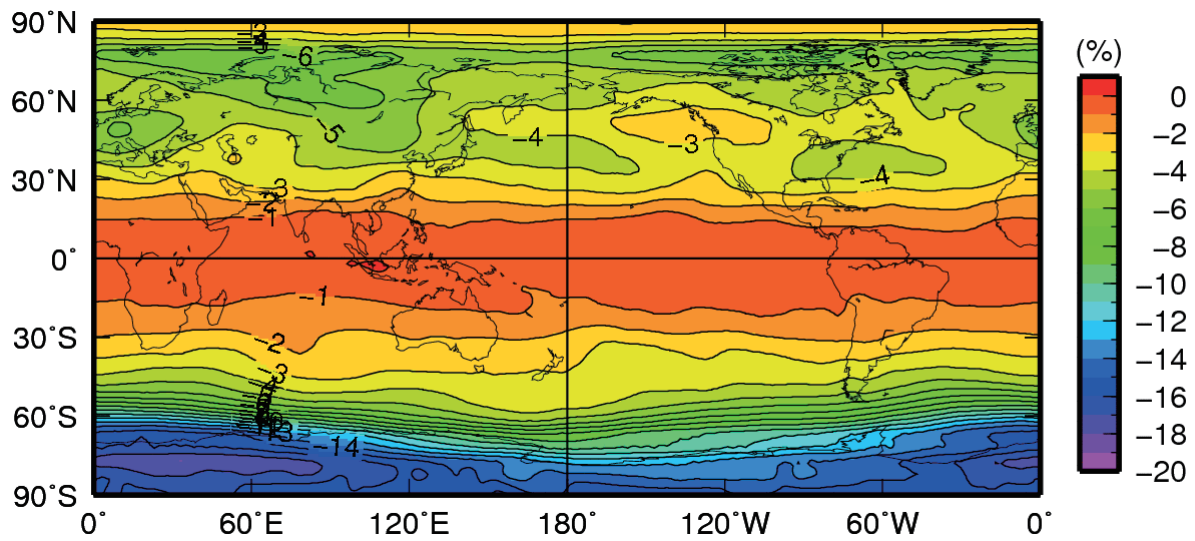


図 3.2-2 世界のオゾン全量の長期変化傾向の分布

衛星観測データから求めた長期変化傾向の分布。EESC フィッティング曲線(用語一覧参照)から得られる 1979 年のオゾン全量を基準とした 2009 年オゾン全量の変化の割合(%)を示す。季節変動、太陽活動、QBO の影響を除去して計算している。等値線間隔は 1%。NASA 提供の衛星観測データから作成。



## 2.1.2 日本上空のオゾン層

気象庁におけるオゾン観測は、1957年につくばで開始し、現在は国内4地点（札幌、つくば、那覇、南鳥島）および南極昭和基地でオゾン全量とゾンデによるオゾン鉛直分布の観測を実施している（図3.1-1参照）。

札幌、つくば、那覇、南鳥島のオゾン全量の年平均値の推移を図3.2-3に示す。札幌とつくばのオゾン全量は主に1980年代を中心に1990年代はじめまで減少が進んだ。1990年代半ば以降は、国内4地点ともにほとんど変化がないか、緩やかな増加傾向がみられる。また、1980年代のオゾンの減少は高緯度ほど大きい。2009年の年平均オゾン全量は、オゾンの減少が進む前の平均値（1959～1980年平均）より、札幌は2.9%、つくばは0.7%少なかった。

図3.2-4に2009年の日本上空におけるオゾン全量の推移を示す。オゾン全量の長期的な減少が見られなくなった1994～2008年の平均を比較の基準として評価した。オゾン全量の年平均値は、基準となる1994～2008年平均と比べて4地点とも並であり、月別に見ても平均的な季節変動にほぼ近い変動を示していた。

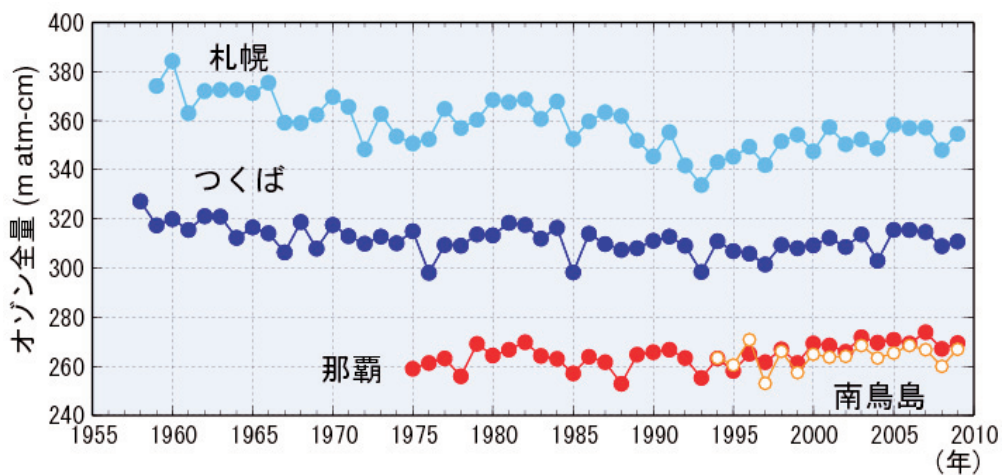


図3.2-3 日本上空のオゾン全量の年平均値の推移

札幌、つくば、那覇、南鳥島におけるオゾン全量の観測開始からの年平均値の経年変化。

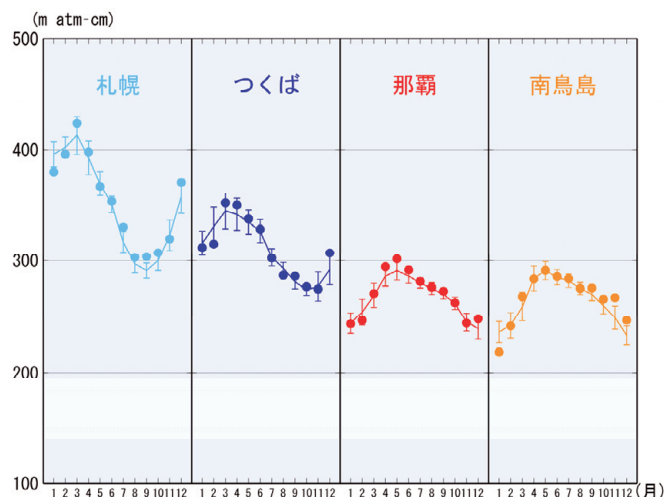


図3.2-4 2009年における月平均オゾン全量の推移

国内4地点（札幌、つくば、那覇、南鳥島）における月平均オゾン全量の推移。丸印は2009年の月平均値。国内4地点の折線は1994～2008年の平均値。縦線はその標準偏差。

### 2.1.3 南極域上空のオゾン層・オゾンホール

2009年のオゾンホールは8月中旬に発生した後、8月後半から9月はじめにかけて例年と同様急速に拡大し、オゾンホールの面積（南緯45度以南でオゾン全量が220m atm-cm以下の領域となる面積）は、9月17日に2009年の最大である2,400万km<sup>2</sup>まで発達した（図3.2-5、図3.2-6）。その後11月上旬に一時、過去の同時期と比べ大きい規模となったが、11月中旬から急速に縮小し、12月1日にオゾンホールは消滅した。2009年のオゾンホールは、過去10年の平均をやや下回る規模だった。この原因として、オゾン層破壊の促進に関係する6月から8月の南極域上空の低温域（-78℃以下）の面積が大きくなかったこと、次に、例年オゾンホールの規模が最大となる9月後半から10月はじめにかけて、低緯度成層圏から南極上空の成層圏下部へのオゾン量の多い空気塊の輸送が増加し、オゾンの破壊が緩和されたことなどが考えられる。このように、オゾンホールの規模はその年の気象状況等との関連で変化するが、成層圏のオゾン層破壊物質の総量は1990年代後半のピーク後も多い状態が続いているため、オゾン層が破壊されやすい状況は依然として続いていると考えられる。

昭和基地で観測したオゾン全量の日代表値の変化を図3.2-7に示す。9月から10月にかけて、オゾンホールの目安である220m atm-cmを下回る状態がほぼ継続していた。10月13日、14日には2009年の最低値である135 m atm-cmを記録したが、11月以降は220m atm-cmを上回るようになった。オゾン全量は、その月平均値の推移（図3.2-8）が示すように、11月には近年（1994～2008年）の平均値を大きく上回り、オゾンホールが明瞭に現われる以前の時期（1961-1980年）と同程度に多かった。これは、南極オゾンホールが11月に入ると規模を小さくしながら、その中心を南極点上空から南極半島付近に移動したことにより、昭和基地がオゾンホールの外側のオゾン全量の多い領域に入ったためである。

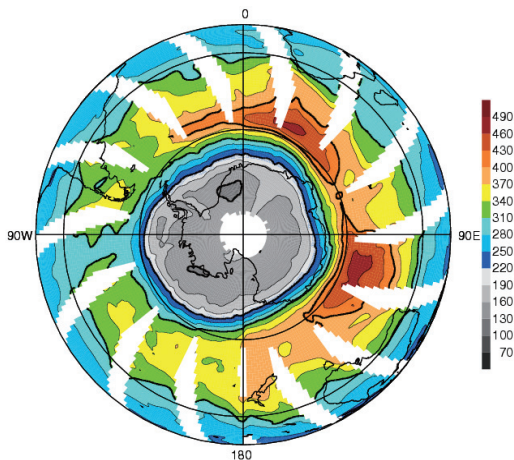


図 3.2-5 オゾンホール面積が年最大を記録した2009年9月17日のオゾン全量の南半球分布

中央の灰色の部分がオゾンホール。白色の部分は観測値が得られなかった領域。米国航空宇宙局 (NASA) 提供の OMI データをもとに作成。

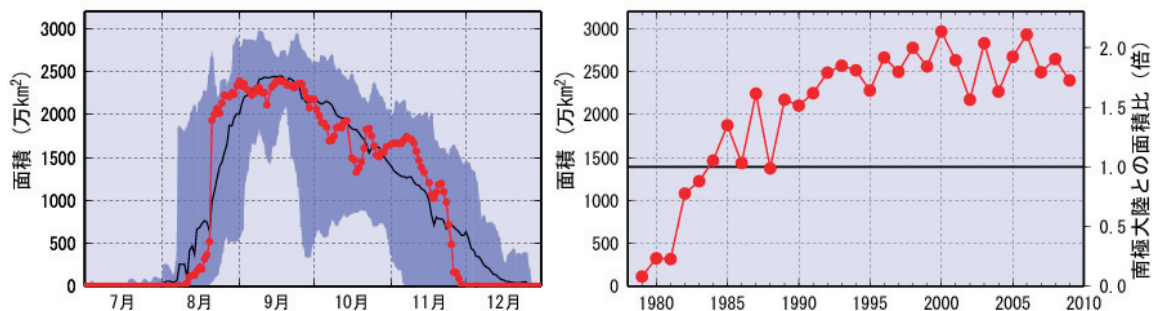
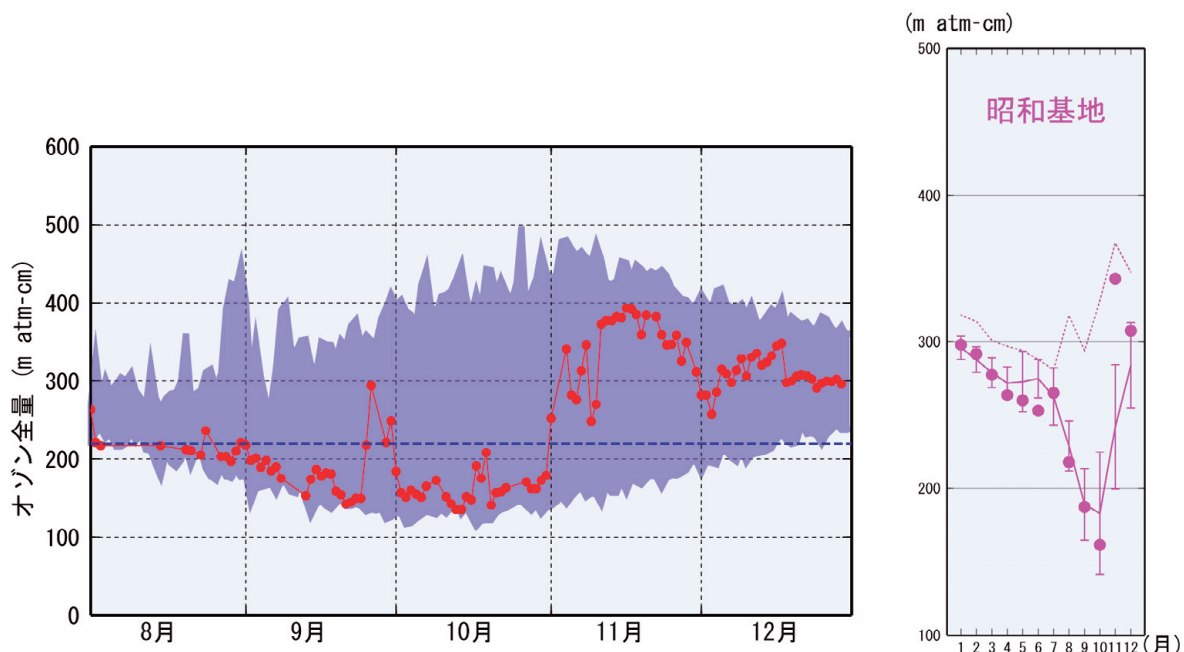


図 3.2-6 オゾンホールの面積の推移

オゾンホールの面積（オゾン全量が220m atm-cm以下の領域の面積）の推移。左図は2009年の日別の値（赤丸）と過去10年（1999～2008年）の日別の最大値・最小値（濃い紫色の領域の上端と下端）の推移、右図は1979年以降の年最大値の経年変化。なお、南極大陸の面積を横線（1390万km<sup>2</sup>）で示す。米国航空宇宙局（NASA）提供の衛星データを基に作成。



(左) 図 3.2-7 南極昭和基地における日別オゾン全量の推移 (2009年8~12月)

丸印は2009年の観測値(日代表値)。濃い紫色の領域の上端と下端は観測開始(1961年)以来の最大および最小値。太い破線はオゾンホールを目安である220m atm-cmの値。

(右) 図 3.2-8 南極昭和基地における2009年の月平均オゾン全量の推移

丸印は2009年の月平均値。点線は1961~1980年の平均値。折線は1994~2008年の平均値で、縦線はその標準偏差である。

## 2.2 紫外線

オゾンは紫外線を吸収する特性をもっており、オゾン全量の減少にともない、生物に有害な紫外線の地表到達量の増加が懸念されている。気象庁における紫外線観測は、1990年につくばで開始し、現在は国内3地点および南極昭和基地で実施している。

国内3地点における2009年の毎日の紫外線の強さの変化を、日最大UVインデックス(用語一覧参照)の推移として図3.2-9に示す。UVインデックスは、特に太陽高度との関係から1年のうちでは夏、地域的には低緯度で大きくなる。紫外線に対する対策が奨められているUVインデックス3以上の日、那覇では1年を通して、北に位置する札幌でも3月から10月にかけて観測されている。日々の観測値が大きくばらついているのは主に天気の変化によるものであり、紫外線に与える天気の影響の大きさを示している。

2009年の月別紫外線量の状況を、月平均紅斑(こうはん)紫外線量(用語一覧参照)日積算値として図3.2-10に示す。累年平均値(札幌、那覇:1991~2008年の平均、つくば:1990~2008年の平均)と比べて、札幌では1月、4~5月、9月に多く、2~3月と6~7月に少なかった。特に、7月はその月として過去最少となった。つくばでは全般に並であったが4月と10月に多く、特に4月はその月として過去最多となった。那覇では全般に並以上で、特に1月、2月、5月はその月として過去最多となった。一方、10月は少なかった。これらの特徴は、主に各地点の天気の状況を反映したものとみられる。また、図3.2-11に示す南極昭和基地の月平均紅斑紫外線量日積算値は、オゾンホールの時期である9~10月、12月は並であったが、11月はオゾン全量が多かったことに対応して少なかった。

紫外線量の年毎の変化を、年積算紅斑紫外線量の推移として図3.2-12に示す。札幌、つくば、那覇の3地点における地表に到達する紫外線量は、1990年代初めから緩やかな増加傾向がみられ、札幌は統計的にも有意(有意水準5%)である。

1990年以降のオゾン量は、2.1で示したように、1990年代初めに最も少なく、その後はほとんど

変化がないか、もしくは緩やかに増加している。このため、国内3地点における1990年以降の地上での紫外線量の増加傾向を上空のオゾン量の変動に関連づけて説明することはできない。汚染の少ない場所における地上に到達する紫外線量は世界的に1990年以降減少しているが、北半球中緯度では増加しているところもある。この増加はオゾン量の状況から説明できず、雲量の減少など天候の変化やエアロゾル量の減少が原因として考えられている。国内における紫外線の増加傾向も同様の原因が考えられる。

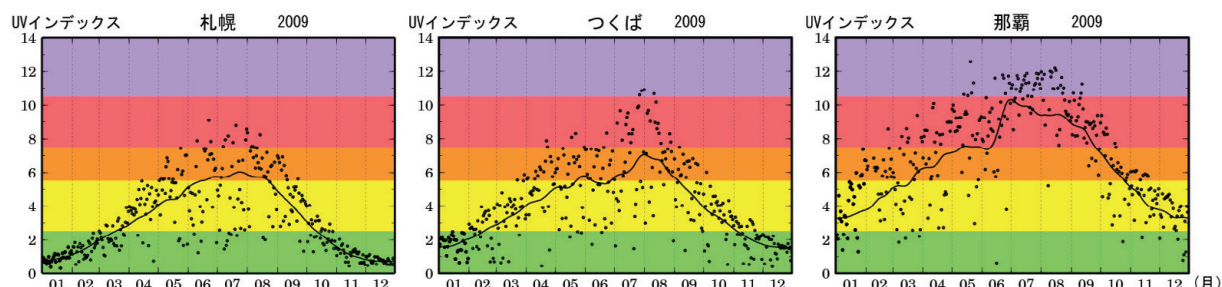


図 3.2-9 2009 年の国内3地点における日最大 UV インデックスの推移

丸印は国内3地点(札幌、つくば、那覇)における2009年の日最大 UV インデックスの推移、実線は日最大 UV インデックスの累年平均値(つくばは1990~2008年、札幌および那覇は1991~2008年の平均)。

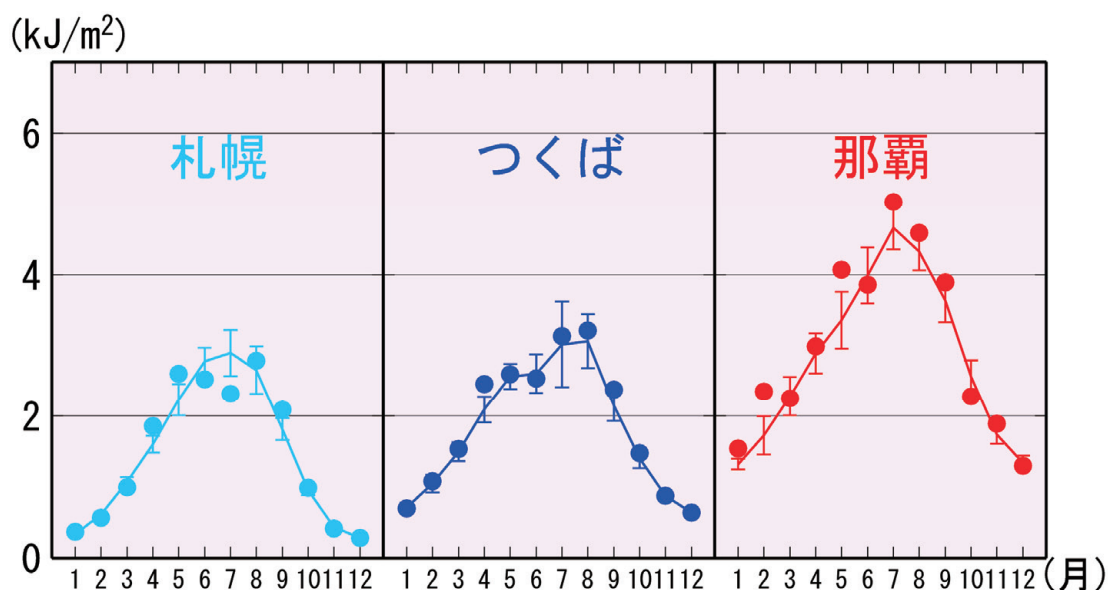


図 3.2-10 2009 年における月平均紅斑紫外線量日積算値の推移

国内3地点(札幌、つくば、那覇)における紅斑紫外線量日積算値の月平均値の推移。丸印は2009年の月平均値。折線は、札幌、那覇では1991~2008年の平均値、つくばでは1990~2008年の平均値である。縦線はその標準偏差。

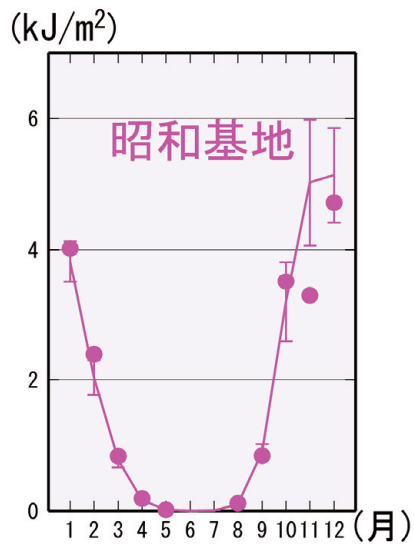


図3.2-11 南極昭和基地における2009年の月平均紅斑紫外線量日積算値の推移

丸印は2009年の月平均値（6,7月は観測数が月平均に必要な基準を満たさなかったため表記していない）。折線は1993～2008年の平均値。縦線はその標準偏差。

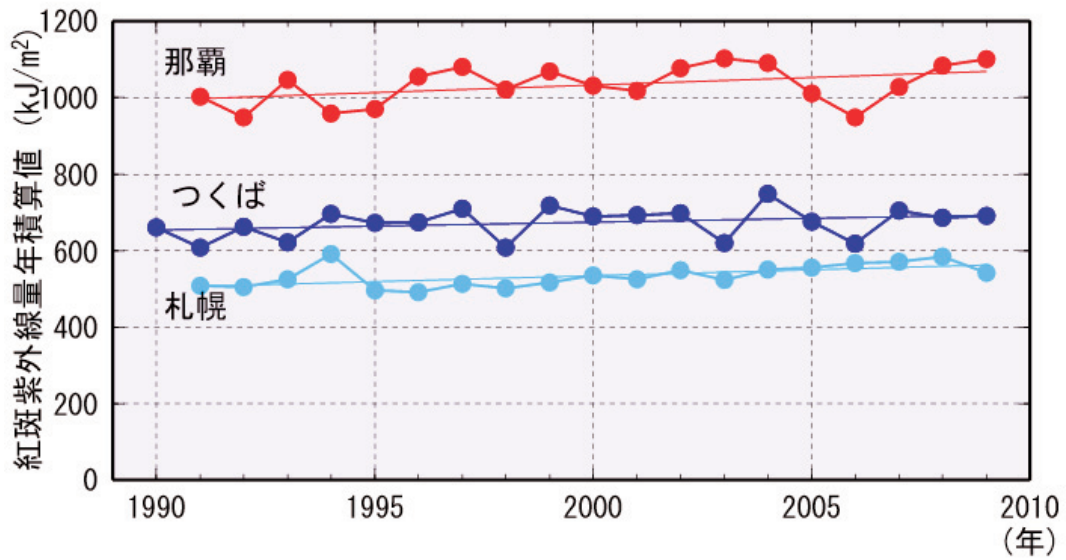


図3.2-12 紅斑紫外線量年積算値の推移

丸印は札幌、つくば、那覇における紅斑紫外線量年積算値の観測開始からの推移。直線は全期間の長期的な傾向。

## 第3章 黄砂・酸性雨の状況

### 3.1 黄砂

黄砂現象とは、アジア大陸の砂漠や半乾燥地帯の耕地から細かい砂塵（黄砂粒子）が、低気圧などによる風によって上空数千メートルまで舞い上げられ、西風に乗って遠距離輸送された先で落下したり大気を混濁させたりする現象である。黄砂粒子が舞い上がる場所としては、タクラマカン砂漠、ゴビ砂漠、黄土高原が知られており、舞い上がった黄砂は、場合によっては太平洋や大西洋を越えて地球を一周以上も輸送されることが明らかにされている。日本上空に輸送されてくる黄砂粒子は、その半径がおおよそ1.6～1.8 μm という研究もあり、一般的に1 μm 以下が多い硫酸塩エアロゾルに比べて大きいのが特徴である。また、黄砂は春に多く起こることが知られているが、秋に起こることもある。しかし、最近の研究によると、薄くではあるが夏季にも継続して発生していることがわかってきている。

黄砂発生源では、黄砂の原因となる大規模な砂塵嵐により人的被害を受けることがある。日本では、視程の悪化による交通障害、洗濯物や車両の汚れ等の影響がある。黄砂現象は、このような社会的影響だけでなく、日射の散乱・吸収および赤外放射の吸収過程、雲の生成などを通して、世界の気候に影響を及ぼしている。黄砂粒子は日射を多少吸収して大気を加熱するが、同時に日射を散乱させる日傘効果により地表面に達する日射を減少させている。気象研究所の全球黄砂モデルによると、このような影響の結果として、世界の平均では、黄砂が大気中にない場合と比較して、 $-0.3\text{W/m}^2$  という弱い冷却効果を示すとされている。また、海洋に落下した黄砂粒子に含まれる化学成分は、海洋表層のプランクトンの栄養分となることなどを通して海洋の生態にも大きな影響を与えていると考えられている。

#### 3.1.1 2009年の黄砂現象

気象庁では、国内67か所（2009年12月31日現在）の气象台や測候所で、職員が目視により大気中に黄砂が浮遊していると判断した場合に「黄砂」として記録している。

日本における2009年の黄砂観測日数（国内の気象官署のいずれかで黄砂現象を観測した日数）は22日（図3.3-2）、黄砂観測のべ日数（国内の気象官署で黄砂現象を観測した日数の合計）は251日（図3.3-3）であった。なお、1971～2000年の黄砂観測日数平均値は20.3日、黄砂観測のべ日数平均値は163.0日である。

黄砂は2月～5月に観測されることが多いが、2009年には10月と12月にも黄砂を観測し（図3.3-1）、10月として17年ぶり、12月として16年ぶりのことである。図3.3-1に2009年2月～12月の日別黄砂観測地点数を示す。

#### 3.1.2 黄砂現象の年々変動

統計値が整備されている1967年からこれまでに黄砂観測日数が最も多かったのは2002年の47日である（図3.3-2）。また、黄砂観測のべ日数が最も多かったのも2002年で、789日であった（図3.3-3）。

黄砂観測日数は、2000年以降は30日以上となる年が多くなっており、また、黄砂観測のべ日数も、2000年以降300日以上となる年が多くなっているように、近年わが国で黄砂が観測されることが多いが、黄砂観測日数は年々変動が大きく、長期的な傾向は明瞭でない。

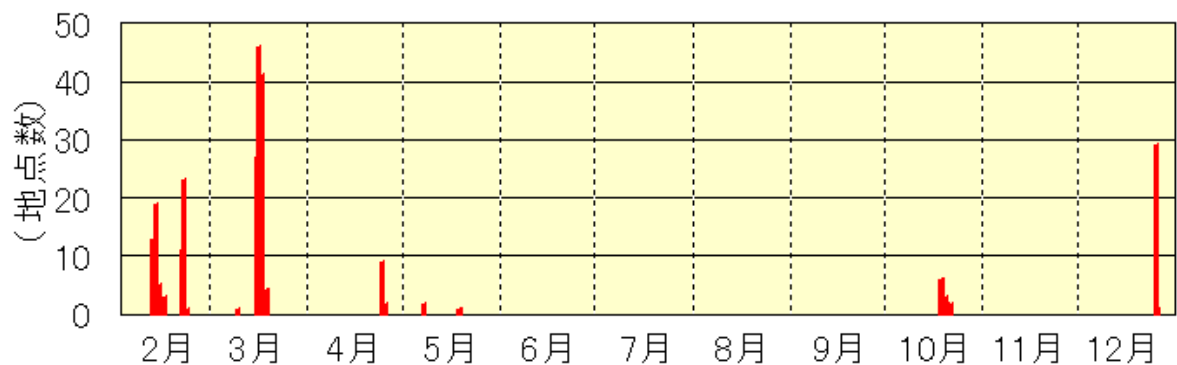


図 3.3-1 日本における 2009 年 2 月から 12 月までの日別の黄砂観測地点数

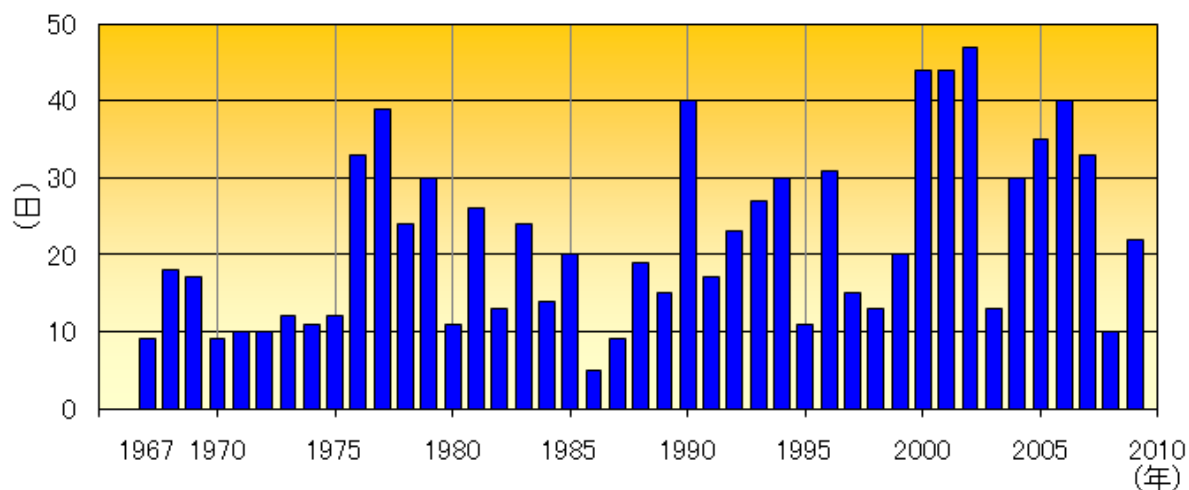


図 3.3-2 日本の年別の黄砂観測日数 (1967~2009 年、67 地点)

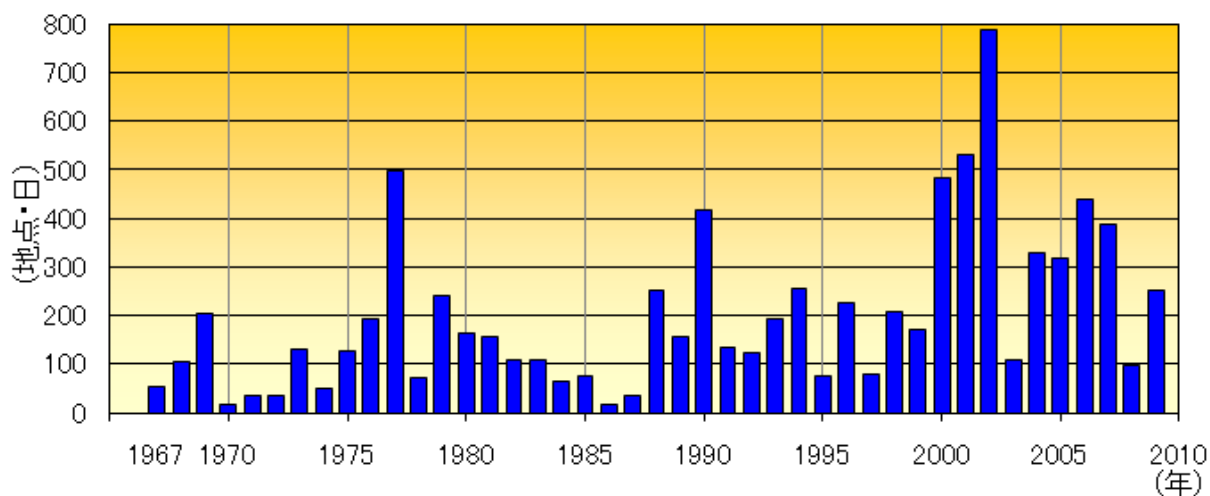


図 3.3-3 日本の年別の黄砂観測のべ日数 (1967~2009 年、67 地点)

## 3.2 酸性雨

酸性雨というのは、化石燃料の燃焼で大気中に放出される二酸化硫黄や窒素酸化物から光化学反応過程などによって生成される硫酸や硝酸などの酸性物質が大気から地上へ向かう過程の一つであり、物質の放出・輸送とともに酸性物質の循環を構成している重要な現象である。近年、大気中の酸性物質が地上に降下し、河川、土壌、植物などの環境に悪影響を及ぼすことが問題となっている。

酸性物質が地上に降下する過程は、雨、雪、霧などに溶け込み、いわゆる酸性雨（酸性霧）として降下する場合（湿性沈着）と、微粒子またはガスとして降下・付着する場合（乾性沈着）があり、両方を含めて酸性沈着と呼んでいる。それらの影響は、大気から地上に降下した酸の量によって決まるため、雨の場合、強い酸性の雨が少し降るよりも、それほど酸性が強くない雨がたくさん降ったときのほうが降下した酸の量が多くなることもある。実際には酸性沈着の影響は、酸の強度の変化が生物に影響を与える場合と、アンモニアのように沈着物質そのものが生物に影響を与える場合とがある。一般に降水の酸性度は水素イオン濃度の対数  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$  であらわされる。pH が 7 より小さいと酸性、大きいと塩基性（アルカリ性）となる。降水中では水素イオン濃度はほかのイオン濃度との平衡状態で決まる。

全国の主な都道府県において行われている観測については、2004年6月に環境省から発表された酸性雨対策調査総合とりまとめ報告書にまとめられている。それによると、第1次酸性雨対策調査から第4次酸性雨調査まで（1983～2002年）の降水 pH の地点別全期間（20年間）平均値は、pH4.49～5.85 の範囲にあり、全平均値は 4.77 であった。また、pH の変動をみるために 1988 年以降の測定地点ごとの年平均値を調べると、1999 年までは変動してはいるものの基本的には横ばいであり、2000 年以降は pH が低下している傾向が認められると報告されている。この原因の一つに三宅島噴火によって放出された二酸化硫黄の影響が考えられるが、その他にも大陸における二酸化硫黄の放出量の増加についても検討が必要であると報告されている。

### 3.2.1 気象庁の観測点での酸性雨の経年変化

酸性雨の分析は、試料の採取から分析まで時間がかかるため、ここでは、2008 年までの結果を記述する。

綾里および南鳥島における降水中 pH の 2008 年の年平均値は綾里が pH4.5、南鳥島が pH5.2 であった。経年変化をみると、綾里では 1976 年の観測開始直後は pH5.0 以上を記録したが、それ以降は pH4.4 から 5.0 の範囲で変動している。観測開始からの全期間（1976 年から 2008 年の 33 年間）を通してみると有意な長期変化傾向はみられない（図 3.3-4）。南鳥島は 1996 年から 2002 年まで pH5.5 から 5.8 の範囲で推移していたが、近年 pH が低下している。2003、2005 年の南鳥島の顕著な pH 低下は、南鳥島の南西約 1,200km にある北マリアナ諸島アナタハン火山において 2003 年 5 月から 6 月、2004 年 4 月から 2005 年 9 月にかけて噴火活動が活発化しており、気象解析等の結果から、そこからの火山ガスの流入が原因の一つと考えられる。しかし、2008 年の pH も 2002 年以前の値までは戻っていないこと、他機関が実施している小笠原父島での降水 pH の観測値にもここ数年 pH の低下傾向がみられることなどから、大陸から輸送されてきた酸性物質の影響が増えた可能性も否定できない。



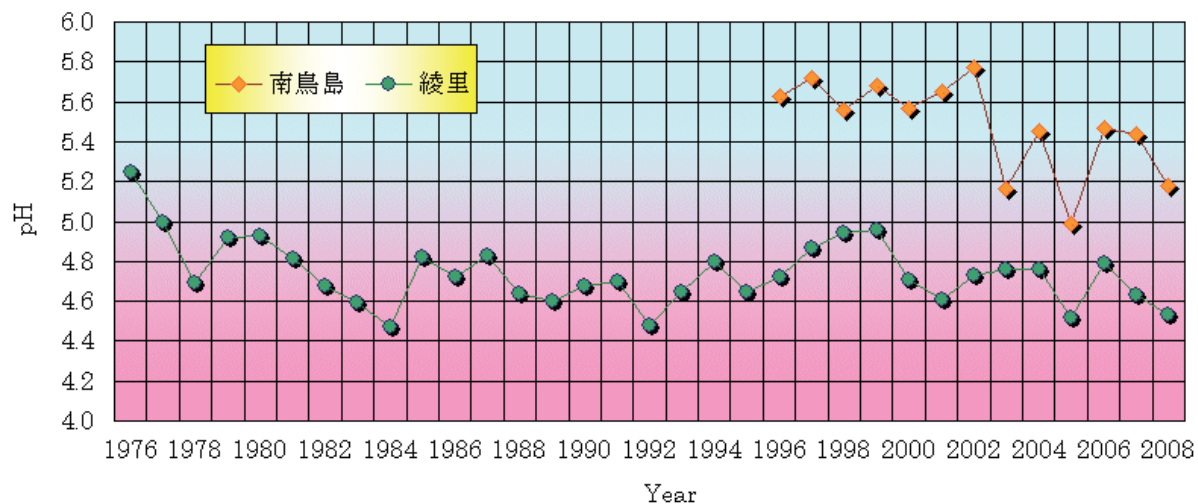


図 3.3-4 綾里（岩手県）および南鳥島における降水中 pH の経年変化

## 用語一覧

- 異常気象：** 一般に過去に経験した現象から大きく外れた現象で、人が一生の間にまれにしか経験しない現象をいう。大雨や強風等の激しい数時間の気象から数か月も続く干ばつ、冷夏などの気候の異常も含まれる。気象庁では「ある場所・ある時季において 30 年に 1 回以下（30 年に 1 回よりまれ）の頻度で発生する現象」を異常気象としている。
- 異常高（低）温、異常多（少）雨：** 世界の天候監視においては、次の基準で気温と降水量の異常を判断する。月平均気温の平年差が平年値統計期間（1971～2000 年）の標準偏差の 1.83 倍以上となった場合に異常高（低）温とする。月降水量が平年値統計期間における最大値を上回る（最小値を下回る）場合に異常多（少）雨とする。
- エルニーニョ/ラニーニャ現象：** エルニーニョ現象は、太平洋赤道域の中央部から南米ペルー沿岸にかけての広い海域で海面水温が平年より高い状態が半年から一年半程度続く現象である。逆に、同じ海域で海面水温が平年より低い状態が続く現象はラニーニャ現象と呼ばれ、いずれも数年に一度発生する。気象庁では、エルニーニョ監視海域（北緯 5 度～南緯 5 度、西経 150 度～西経 90 度）の月平均海面水温の基準値（その年の前年までの 30 年間の各月の平均値）との差の 5 か月移動平均値が、6 か月以上続けて $+0.5^{\circ}\text{C}$ 以上/ $-0.5^{\circ}\text{C}$ 以下となった場合をエルニーニョ/ラニーニャ現象としている。
- 紅斑紫外線量：** 太陽光に含まれる紫外線を継続的に浴びると、皮膚が赤くなる(紅斑)などの変化が起きる。これが長年にわたって繰り返されると、皮膚ガンや白内障の発症率の増加など健康に悪影響を与えることが知られている。紅斑紫外線量は、人体に及ぼす影響を示すために、波長によって異なる影響度を考慮して算出した紫外線量である。
- 水温躍層：** 水温が鉛直方向に大きく変わる層で、赤道域では表層の暖水と下層の冷水の境界にあたり、その深さは  $20^{\circ}\text{C}$  の等温線の深さにほぼ相当する。
- 台風 接近：** 台風の中心が、その地域の地理的な境界線(海岸線、県境線等)から半径 300km 以内の域内に入ることをいう。
- 台風 上陸：** 台風の中心が、日本本土（北海道、本州、四国、九州）の海岸線に達した場合をいう。ただし、島や小さい岬、半島を横切った場合は上陸としない。
- 南方振動指数：** 気象庁では、ダーウィン（南緯 12.5 度、東経 131 度）とタヒチ（南緯 17.5 度、西経 150 度）それぞれの月平均海面気圧の平年差を標準偏差で割ったものを求め、両者の差をとり（タヒチの値からダーウィンの値を引く）、さらにそれを標準偏差で割ったものを南方振動指数としている。南方振動指数は、ENSO の大気側の指標としてよく使われ、一般にエルニーニョ現象時には負、ラニーニャ現象時には正の値を示す。
- バイオマス：** 化石資源を除いた、再生可能な生物由来の有機性資源の総称。廃棄される紙、生ゴミ、家畜排せつ物などの廃棄物系のもの、稲わらやもみ殻などの農作物の非食用部分、トウモロコシなどの資料穀物、木材（森林）、動物の屍骸など多岐にわたる。
- ヒートアイランド：** 都市の気温が周囲よりも高い状態になる現象。気温分布図を描くと、等温線が都市を丸く取り囲んで島のような形になることから、このように呼ばれる。(heat island=熱の島)

平年値： 特に断りのない限り、1971年から2000年の30年間の平均値を平年値として使用する。

平年並、平年より～： 「平年並」「平年より高い」などの表現は、それぞれの節の文中や図の説明により示す「平年並」、「高い」といった階級区分の範囲に値が入ることを意味する。階級区分を示していない節においては、「平年より～」といった表現は用いず、平年値との差を示す「平年値を上回る」といった表現を用いている。

偏差： 特に断りのない限り、平年値からのずれを示す。平年差と意味は同じ。

冷水渦： 海洋中の水平方向に数十～数百 km、鉛直方向には数百 m のスケールをもつ渦のうち、周囲より水温が低く、北（南）半球で反時計回り（時計回り）の循環をもつ渦を冷水渦と呼ぶ（冷水塊ともいう）。また、周囲より水温が高く、北（南）半球で時計回り（反時計回り）の循環をもつ渦を暖水渦と呼ぶ（暖水塊ともいう）。冷（暖）水渦の中心では、水位が周囲に比べて低い（高い）という特徴がある。

ppm： 100 万分の 1（本書では体積比）

ppb： 10 億分の 1（本書では体積比）

ppt： 1 兆分の 1（本書では体積比）

PgC： 炭素換算でペタグラム（ $10^{15}\text{g}$ ） 1 ペタグラムは 10 億トン

ng： ナノグラム（ $10^{-9}\text{g}$ ）

$\mu\text{m}$ ： マイクロメートル（ $10^{-6}\text{m}$ ）

nm： ナノメートル（ $10^{-9}\text{m}$ ）

m atm-cm： ミリアトムセンチメートル（オゾン全量を表す単位。地表から大気圏上限までのすべてのオゾンを 1 気圧、 $0^{\circ}\text{C}$ の地表に集めたときにできるオゾンだけからなる層の厚みをセンチメートル単位であらわし、この数値を 1000 倍したもの）。SI 単位系との関係は以下のとおりである。

$$1\text{m atm-cm}=2.687\times 10^{20}\text{分子数 m}^{-2}$$

（断面積  $1\text{m}^2$  の大気柱内のオゾン分子数）

なお、1 気圧のもとで大気柱内のすべての空気分子数は、 $2.150\times 10^{29}$  分子数  $\text{m}^{-2}$  であるので、1ppb（容積比で  $10^{-9}$ ）の濃度のオゾンが地表から大気圏上限まで一様に分布したと仮定した場合のオゾン全量は、

$$2.150\times 10^{29}\text{分子数 m}^{-2}\times 10^{-9}/2.687\times 10^{20}\text{分子数 m}^{-2}=0.80$$

の計算より、0.80 m atm-cm となる。

CFCs： クロロフルオロカーボン類

CFC-11：  $\text{CCl}_3\text{F}$ 、トリクロロフルオロメタン

CFC-12：  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ 、ジクロロジフルオロメタン

CFC-113：  $\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$ 、トリクロロトリフルオロエタン

CO： 一酸化炭素

$\text{CO}_2$ ： 二酸化炭素

HFCs： ハイドロフルオロカーボン類

HFC-23：  $\text{CHF}_3$ 、トリフルオロメタン

HCFCs： ハイドロクロロフルオロカーボン類

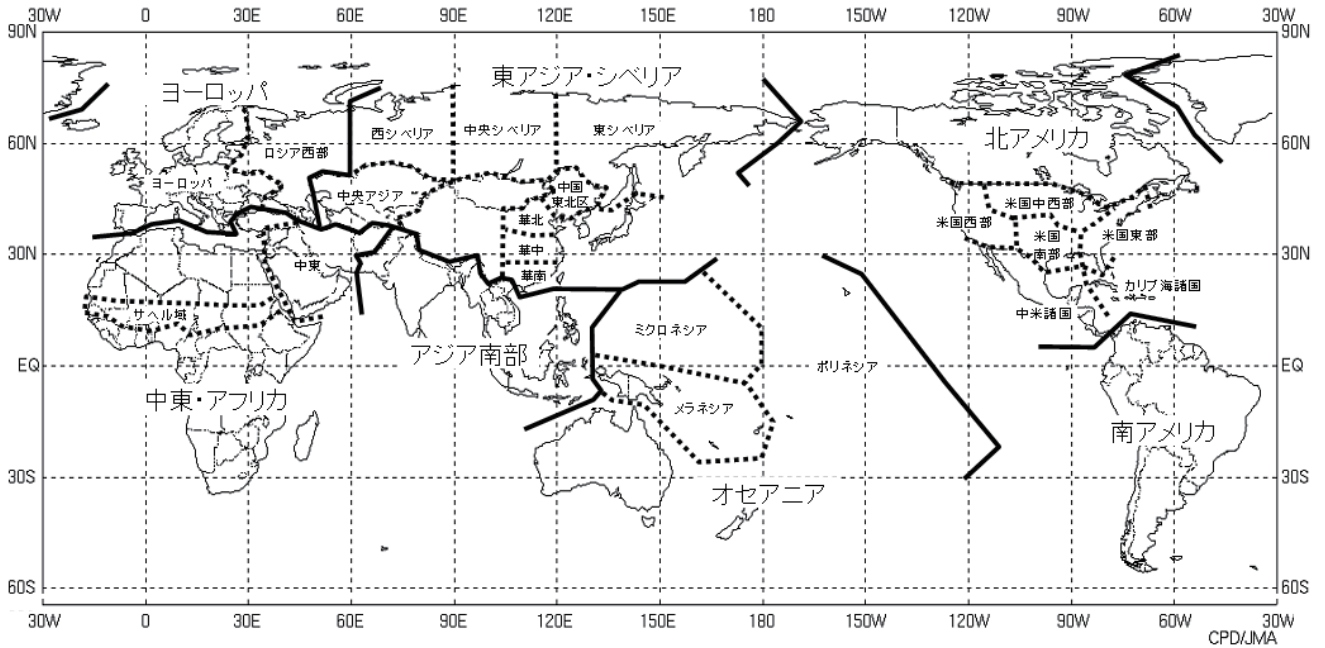
HCFC-22：  $\text{CF}_2\text{HCl}$ 、クロロジフルオロメタン

$\text{O}_3$ ： オゾン

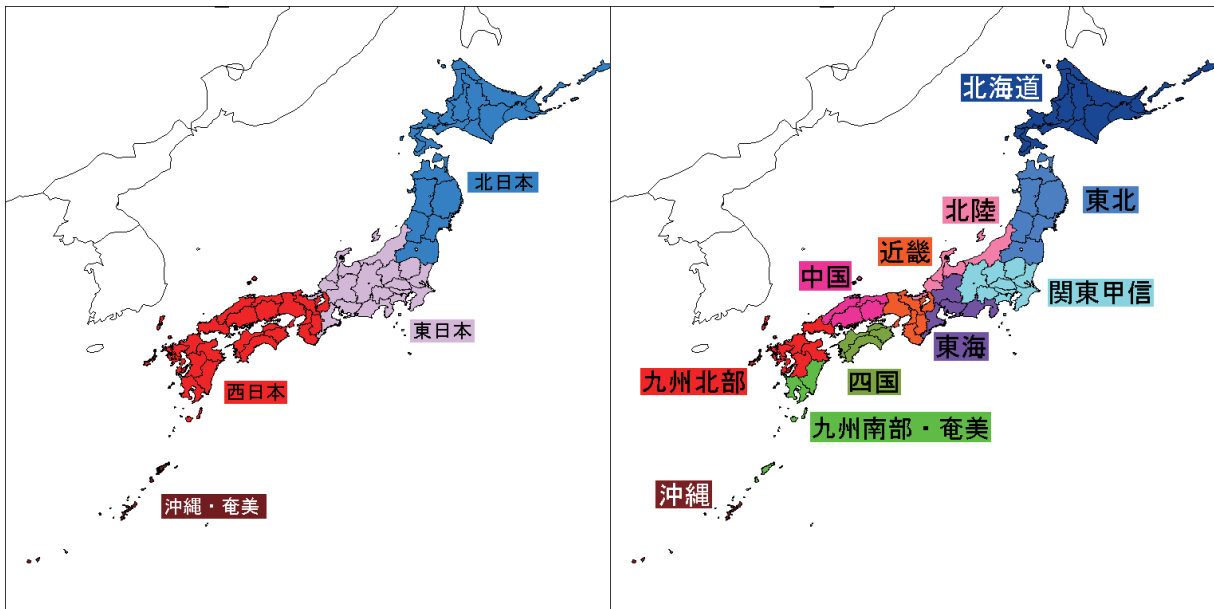
OH ラジカル： オゾンに紫外線が当たることによって水蒸気が分解されて発生する反応性が高く不安定な物質。OH ラジカルは対流圏で多くの物質と反応するため、対流圏の化学過程に大きな役割を果たしており、一酸化炭素、オゾン、メタン、ハロカーボン類などの濃度にも影響を与える。

- PFCs : パーフルオロカーボン類
- PFC-14 : CF<sub>4</sub>、パーフルオロメタン (テトラフルオロメタン)
- SF<sub>6</sub> : 六フッ化硫黄
- EESC フィットティング : オゾンの長期変化 (トレンド) を議論する際に、EESC (Equivalent Effective Stratospheric Chlorine、等価実効成層圏塩素と訳され、成層圏における臭素と塩素のオゾン破壊能力に関する標準化された指標) の変化の関数に当てはめて解析する方法。「オゾン層破壊の科学アセスメント 2006」(WMO、UNEP) において採用されている方法である。
- OMI : オーラ衛星のオゾン監視装置 (Ozone Monitoring Instrument)
- TOMS : オゾン全量マッピング分光計 (Total Ozone Mapping Spectrometer)
- UV インデックス : UV インデックスとは、紫外線が人体に及ぼす影響度をわかりやすく示すために紅斑紫外線量を指標化したもので、通常、日本国内で観測される UV インデックスは 0~12 程度である。現在、世界保健機関(WHO)などでは、UV インデックスを用いた紫外線対策を行うよう奨めている。国内でも環境省から UV インデックスが 3 以上の場合はできるだけ日差しを避け、8 以上の場合はできるだけ外出を控えたほうがよいといった具体的な対処方法が示されている。
- GAW : WMO が推進している全球大気監視計画 (Global Atmosphere Watch)
- WDCGG : WMO の温室効果ガス世界資料センター  
(World Data Centre for Greenhouse Gases)

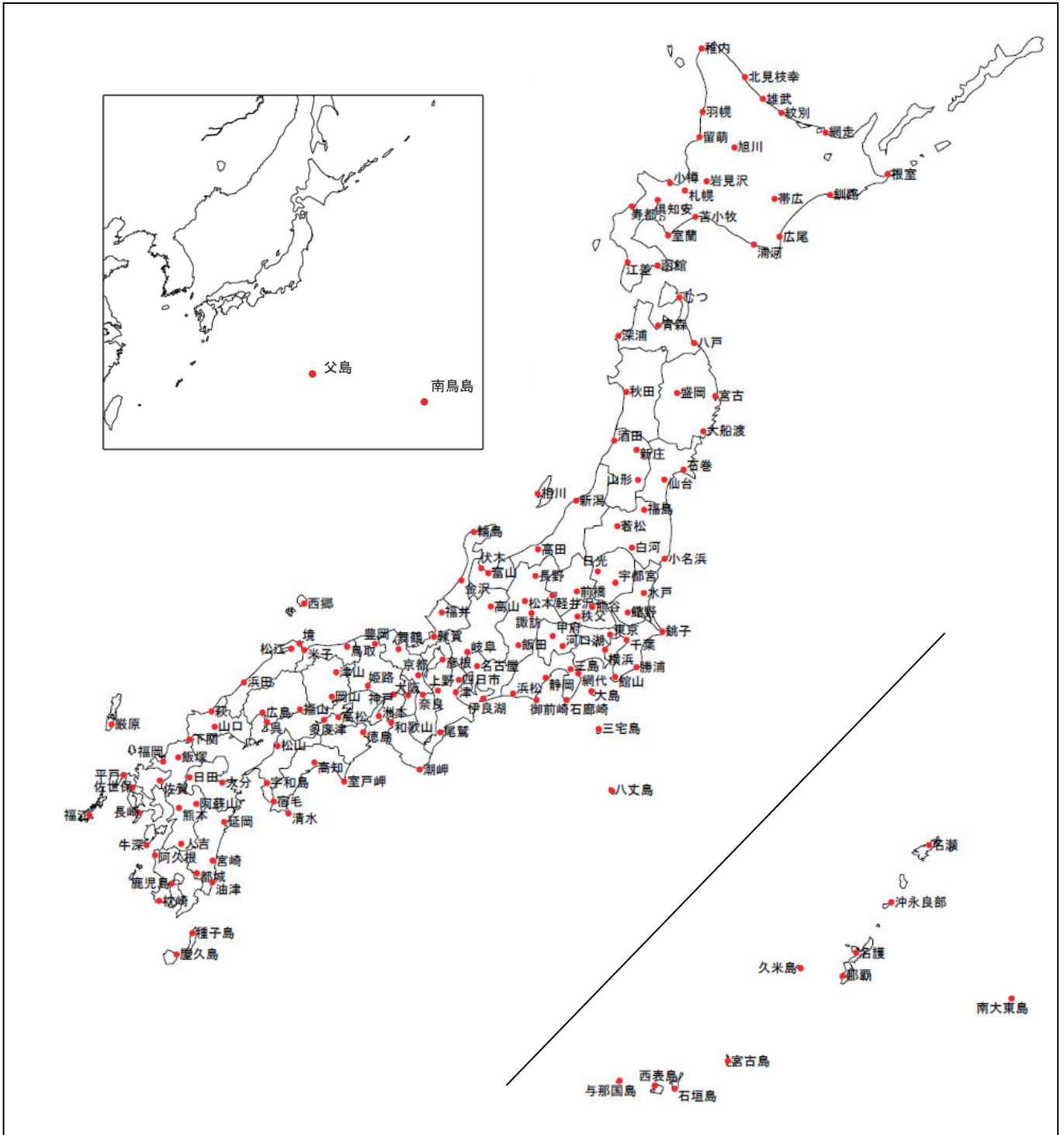
# 参考図



参考図1 世界の地域区分



参考図2 日本の地域区分



参考図 3 日本の地上気象観測所分布図

## 謝辞

本書は、気象庁関係各部が作成し、内容に関する検討は、近藤洋輝 専門委員を部会長とする気候問題懇談会検討部会の協力を得た。

### 気候問題懇談会検討部会

部会長 近藤 洋輝 独立行政法人 海洋研究開発機構  
IPCC 貢献地球環境予測プロジェクト 特任上席研究員  
植松 光夫 東京大学 大気海洋研究所国際連携研究センター  
センター長・教授  
木本 昌秀 東京大学 大気海洋研究所 教授  
田宮 兵衛 帝京平成大学 健康メディカル学部 教授  
三上 岳彦 帝京大学 文学部 教授  
山中 康裕 北海道大学大学院 地球環境科学研究院 准教授

(敬称略)

リサイクル適性 (B)

この印刷物は、板紙へ  
リサイクルできます。