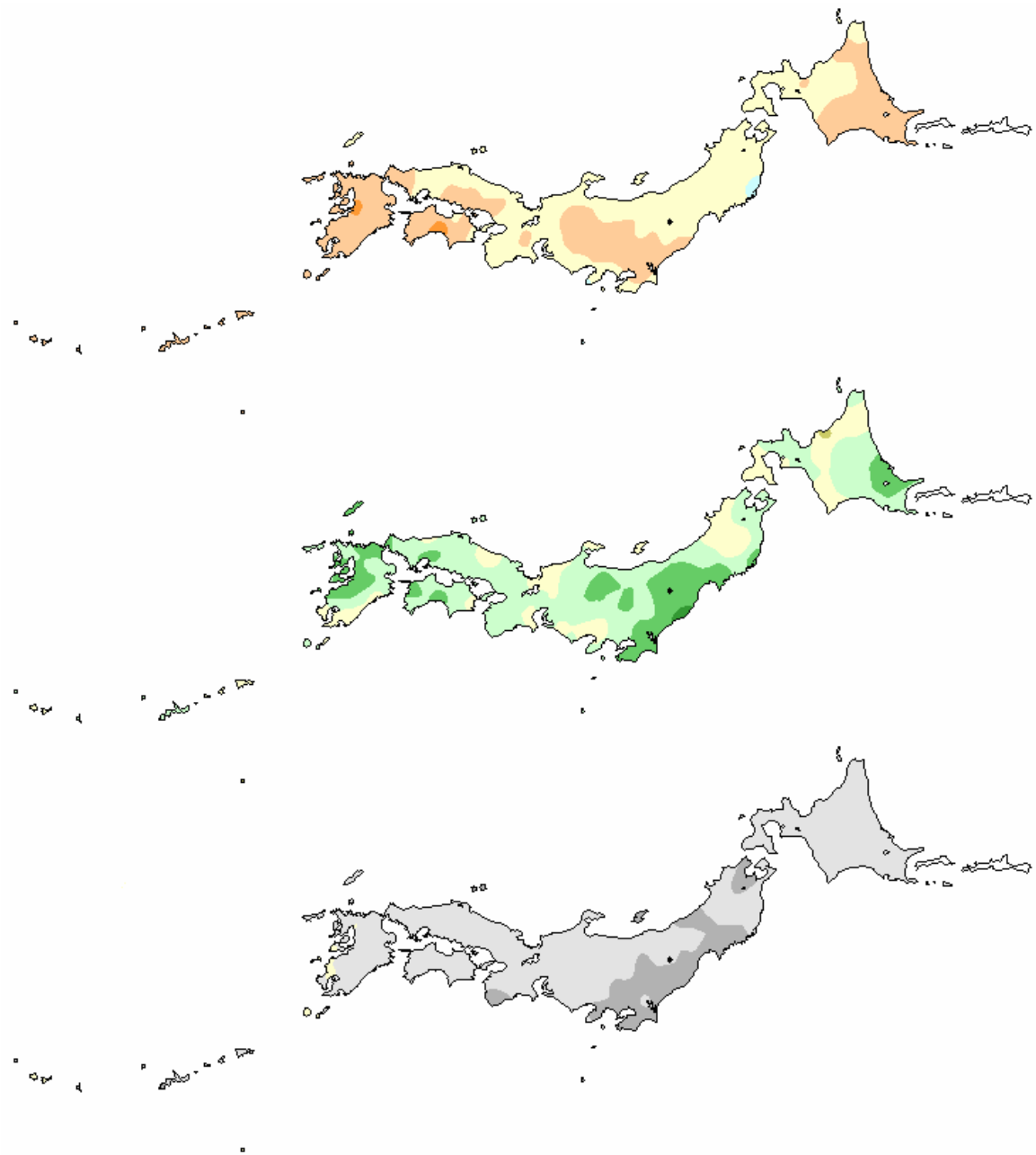


気候変動監視レポート 2006

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 19 年 3 月
気 象 庁

気候変動監視レポート 2006

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 2006 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、17 ページに掲載。

はじめに

近年、人間活動が地球環境に与える影響についての懸念が高まり、地球温暖化をはじめとする地球環境問題は、世界的な対策が求められている問題となっている。そのような中、平成19年2月には、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次評価報告書第1作業部会報告書が採択された。この報告書の中では、気候システムの温暖化には疑う余地がないことが示された。また、平成18年に世界気象機関（WMO）、国連環境計画（UNEP）等がとりまとめた「オゾン層破壊に関する科学アセスメント」では、「南極オゾンホールは引き続き今後数十年間あらわれると予想される。」と述べられている。このように地球環境問題が喫緊の課題となっていることが明らかに示されている。

こうした地球温暖化やオゾン層破壊などの地球環境問題の解決のためには、大気や海洋等の気候を形成する地球の物理的構成要素およびそれらの相互作用、二酸化炭素やオゾン等の微量物質を含む地球の環境とその変化を決定する諸過程を総合的にとらえる必要がある。気象庁では、世界気象機関（WMO）をはじめとする国内外の関係機関と協力しつつ、地球環境問題に関する観測・監視およびその変動要因の解明に積極的に取り組んでいる。

気象庁では平成8年より、世界と日本の気候変動および温室効果ガスとオゾン層の状況について「気候変動監視レポート」として刊行している。このたび、黄砂や酸性雨、海洋汚染に関する情報についても新たに加え編集することとした。

本年のレポートでは、大きな被害を出した「平成18年7月豪雨」の発生要因について取り上げているほか、昭和基地上空のオゾン全量が過去最小を記録するなど、最大級に発達した南極オゾンホールについての状況や、世界の年平均気温が過去約120年間で3番目の高温を記録したことなど、平成18（2006）年の気候、海洋、大気環境に関する情報を総合的にとりまとめている。

「気候変動監視レポート」は、これまで国内外の関係機関に広く利用され、気候変動に対する施策の策定に貢献している。引き続き、本レポートが広く活用されるとともに、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る。

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、内容の査読にあたりご協力をいただいた。ここに厚くお礼を申し上げる。

平成19年3月
気象庁長官 平木 哲

目次

2006年の主な監視結果	1
トピックス 「平成18年7月豪雨」に関連する大気の流れについて	3
第1部 気候	7
第1章 世界の気候	
1.1 2006年の世界の天候	7
1.2 世界の気温と降水量	11
【コラム】南極昭和基地の気候	15
第2章 日本の気候	
2.1 2006年日本の天候の概要	16
2.2 日本の主な気象災害	22
2.3 日本の気温と降水量	24
2.4 顕著現象の長期変化傾向	26
【コラム】アメダスでみた大雨発生回数の長期変化	32
2.5 台風	35
2.6 日本の都市のヒートアイランド現象	37
第2部 海洋	40
第1章 世界の海洋	
1.1 世界の海面水温	40
1.2 エルニーニョ/ラニーニャ現象	42
1.3 北極・南極域の海氷	45
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	46
2.2 日本沿岸および近海の海面水位	48
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
第3部 環境	58
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	58
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	80
3.2 酸性雨	82
用語一覧	84
参考図	86
気候問題懇談会検討部会委員一覧	88

2006年の主な監視結果

第1部 気候

第1章 世界の気候

- ・ 世界で発生した主な気象災害は、中国南東部の台風被害、フィリピンやアフリカ東部の大雨、ヨーロッパの寒波や熱波、オーストラリアの干ばつなどが特に顕著（1.1）。
- ・ 世界の年平均気温の平年差は+0.31℃で、1891年の統計開始以来第3位の高温。世界の気温は長期的には100年あたりおよそ0.67℃の割合で上昇。（1.2）

第2章 日本の気候

- ・ 日本では、前年12月から1月上旬にかけて日本海側で記録的な大雪（平成18年豪雪）。7月には本州から九州にかけての地域で大雨（平成18年7月豪雨）。（2.1、2.2、トピックス1）
- ・ 日本の年平均地上気温の平年差は+0.44℃であった。長期的には100年あたりおよそ1.07℃の割合で上昇。（2.3）
- ・ 台風の発生数は平年より少なく、中国大陸や南シナ海へ進んだ台風が多く日本の本土に接近した台風が少なかった。（2.5）
- ・ 近畿地方の夏季のヒートアイランドについて、大阪平野が高温となる晴天弱風日を対象に解析したところ、都市化の影響による気温の上昇は、明け方は大阪市を中心とした沿岸部で、昼過ぎは内陸部で大きかった。（2.6）

第2部 海洋

第1章 世界の海洋

- ・ 2006年の世界の年平均海面水温の平年差は+0.21℃で、1900年の統計開始以降では1998年について（2002年、2003年、2005年と並び）2番目に高い値。世界の海面水温は、長期的には100年あたりおよそ0.50℃の割合で上昇。（1.1）
- ・ 2005年秋から2006年春にかけてラニーニャ現象が発生。（1.2）
- ・ 北極域の海氷域面積は、2001年5月以降、平年より小さい状態が継続。2006年の最大海氷域面積は、1979年の統計開始以来最小を記録。（1.3）

第2章 北西太平洋・日本近海

- ・ 黒潮は種子島近海から九州の東にかけてたびたび小蛇行が発生したが、非大蛇行流路であった。（2.1）
- ・ 日本沿岸の海面水位は、1980年代半ばを境として下降から上昇に転じ、1985年から2006年にかけて3.3mm/年の割合で上昇。2006年は平年値（1971年～2000年の平均値）より2.0cm高く、1960年以降で8番目に高い値。（2.2）
- ・ オホーツク海の積算海氷域面積は、2002年以降5年連続で減少し、2006年は平年の64%

で、1971年以降では最小。(2.3)

- ・ 浮遊汚染物質（プラスチック類）の発見数は平均して 5.4 個/100km であり、2005 年と同程度。(2.4)

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、2005 年の世界平均濃度は前年より 2.0 ppm 増加して 379.1 ppm であった。2006 年の日本国内の 3 地点での年平均濃度は前年に比べて 2.1~3.0 ppm の増加と前年に引き続き増加量が大きかった。これは 2005~2006 年の世界的な高温によって陸上生物圏からの放出が多かったためと考えられる。(1.1)
- ・ 2005/2006 年の冬は、太平洋西部の赤道に沿った表面海水中の二酸化炭素濃度が大気中の濃度より 50 ppm 以上高くなった。2005 年秋季から 2006 年春季に発生したラニーニャ現象との関連が考えられる。(1.2)
- ・ 日本における大気の混濁係数は、1996 年頃にはエルチチョン火山噴火以前のレベルに戻り、その後わずかながら減少傾向を示している。(1.3)

第2章 オゾン層および紫外線の状況

- ・ 2006 年の世界全体のオゾン全量は、1979~1992 年の平均値と比較すると、ほとんどの地域で少なく、特に南半球の中高緯度で顕著。オゾンホールは過去最大級に発達し、昭和基地のオゾン全量は、10月17日に過去最小値である 114m atm-cm を記録。(2.1)
- ・ 日本国内の 3 地点（札幌、つくば、那覇）で観測された年積算紅斑紫外線量は 1990 年代初めから増加傾向にある。(2.2)

第3章 黄砂・酸性雨の状況

- ・ 2006 年の黄砂観測日数は、42 日、黄砂観測のべ日数は 606 日であった。4 月の黄砂観測日数は 21 日で、1 か月間の黄砂観測日数としては、2002 年 4 月の 23 日について 2 番目の記録。(3.1)
- ・ 降水中 pH の 2005 年の年平均値は綾里（岩手県）が pH 4.5、南鳥島が pH 5.0 となり、南鳥島では 1996 年の観測開始以来の最低の値を記録。(3.2)

トピックス 「平成 18 年 7 月豪雨」 に関連する大気の流れについて

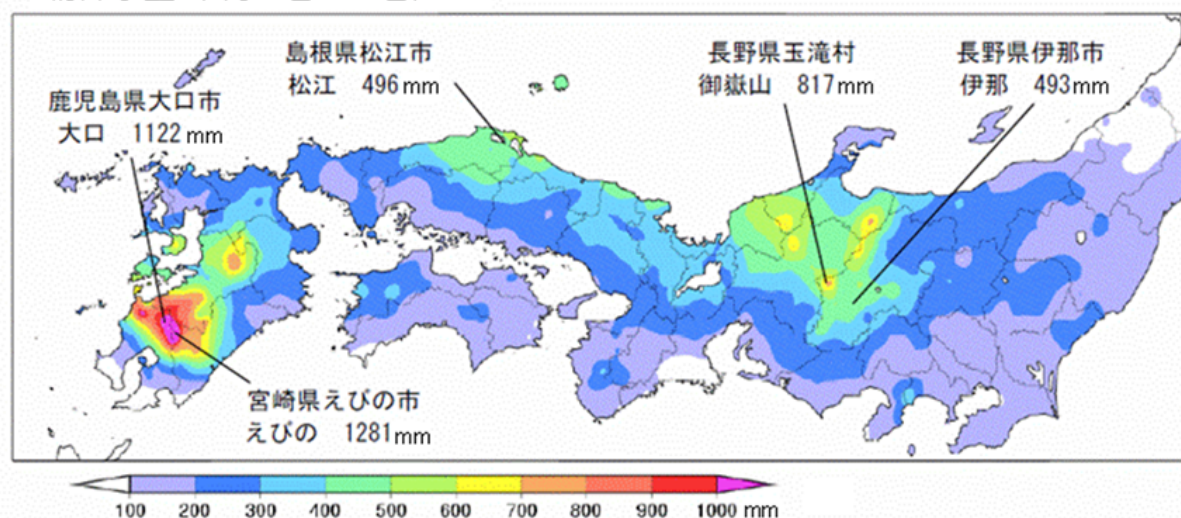
2006 年（平成 18 年）7 月 15 日から 24 日にかけて、本州付近に停滞した前線の活動が活発となったため、本州から九州の広い範囲で大雨となった。この大雨について、気象庁は「平成 18 年 7 月豪雨」と命名した。この大雨の状況、偏西風の蛇行等活動の活発な前線が本州付近に停滞した要因について説明し、この偏西風の蛇行が日本だけではなく、世界各地に異常気象をもたらしたことについて解説する。

1. 降水・被害の状況

長野県塩尻市木曾平沢では 7 月 19 日 10 時までの 24 時間降水量が 255mm、鹿児島県阿久根市では 23 日 6 時 50 分までの 24 時間降水量が 622mm など記録を更新した。鹿児島県、熊本県、島根県、長野県などでは、7 月 15 日から 24 日までの総降水量が 7 月の平年の月降水量の 2 倍を超えるなど記録的な大雨となった（図トピックス-1）。長野県、富山県では 7 月 15 日から 21 日までの 7 日間の総降水量が多いところで 600 mm を超え、長野県玉滝村御嶽山（オンタケサン）で 701mm、富山県立山町で 678mm となった。また、九州では、18 日から 24 日までの 7 日間の総降水量が多いところで 1,200mm を超え、宮崎県えびの市で 1,281 mm、鹿児島県さつま町紫尾山（シビサン）で 1,264 mm となった。

この大雨により、長野県、鹿児島県を中心に九州、中国、近畿、東海および関東甲信の各地方などで土砂災害や浸水害が発生し、死者が長野県や鹿児島県などで 26 名となった（消防庁調べ）。

総降水量（7月15日～24日）



図トピックス-1 2006 年 7 月 15 日から 24 日までの総降水量の分布

2. 大気の流れの状況

活動の活発な梅雨前線が本州付近に停滞したため、広い範囲で大雨となり、また、南西諸島を除く、各地で梅雨明けが遅れた（表トピックス-1）。その要因として、以下の二つの大気の流れが関連していた（図トピックス-2）。

①偏西風の蛇行が強まり、日本の上空に寒気が流れ込む状況が続いた。

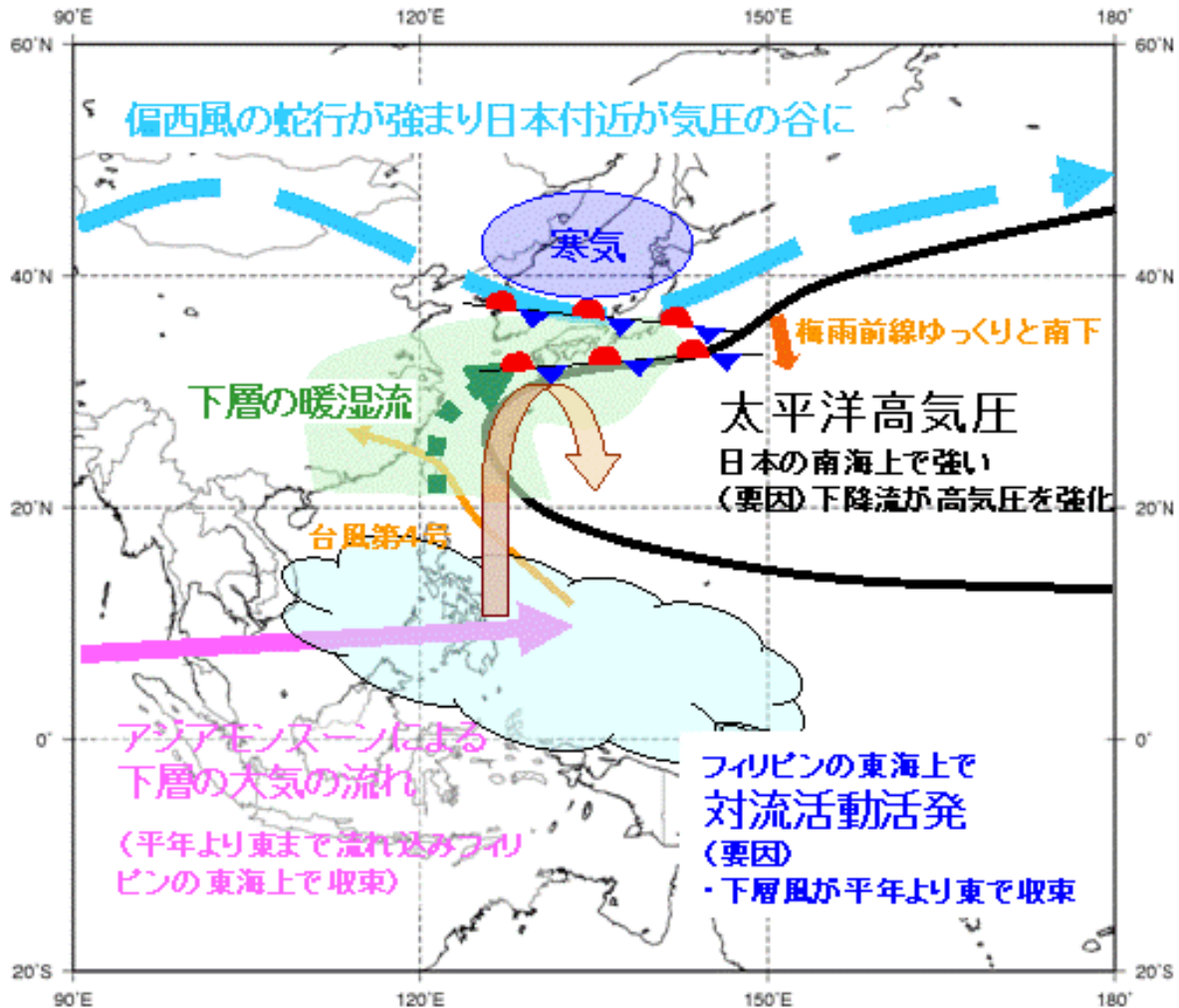
7 月 15 日以降、18 日頃をピークとして日本付近の偏西風の蛇行が顕著となり、日本の上空に寒気が流れ込むようになった。梅雨前線の南では下層を中心に暖かく湿った空気が、

北側では寒気が流れ込み、日本付近では梅雨前線の活動が活発となった。このような偏西風（亜熱帯ジェット）の蛇行が10日程度持続し、日本付近への寒気の南下が続いた。このため、梅雨のない北海道および南西諸島を除く各地で梅雨明けが遅れた。

②日本の南海上の高気圧が強く、暖かく湿った空気が日本付近に流れ込みやすい状態が続いた。

日本の南海上の太平洋高気圧の周りを回るような形で、暖かく湿った空気が日本付近に流れ込んだ。特に、期間前半は、中国南部に上陸した台風第4号と太平洋高気圧の間を北上した下層の暖かく湿った空気が、日本海沿岸をゆっくりと南下した梅雨前線に向かって継続して流れ込んだことにより、長時間、広い範囲にわたって大雨を降らせた。その後も、太平洋高気圧が南海上で強い状態が維持され、梅雨前線が本州南岸から九州付近に停滞し、日本の南海上から湿った空気が九州付近に流れ込みやすい状態が続いた。このため、期間の後半は、九州を中心に記録的大雨となった。

なお、フィリピンの東海上で対流活動が活発で、対流活動にともなう上昇流がその北側で下降流となり高気圧を強化したことが、太平洋高気圧が日本の南海上で強かった一因と考えられる。また、アジアモンスーンによる下層の西風が例年より東のフィリピンの東海上まで達し、収束していることが、この付近で対流活動が活発化したことと関連している可能性がある。



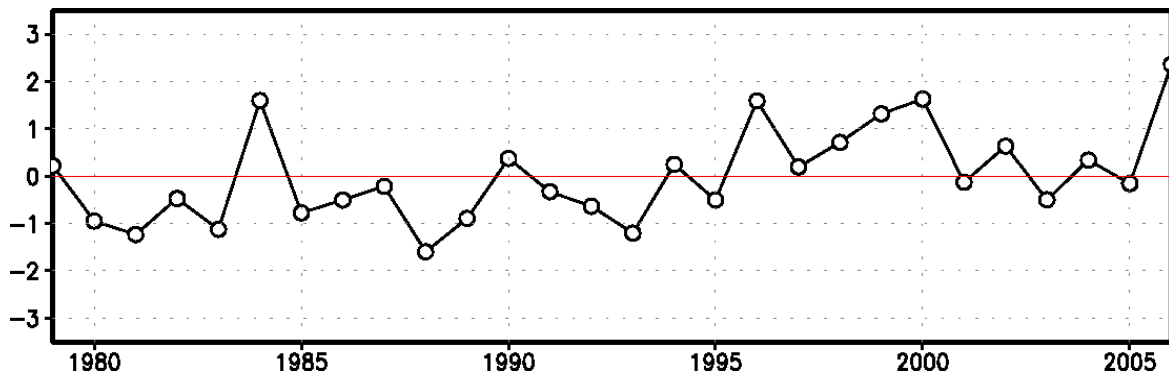
図トピックス-2 2006年7月15日から24日までの平均的な大気の流れの模式図

3. 偏西風の蛇行による世界各地での異常気象の発生

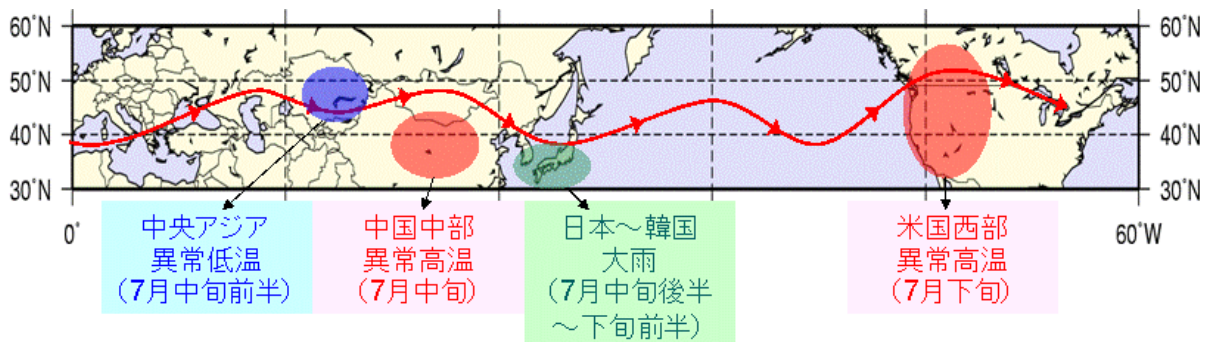
上述のように、偏西風の蛇行が大きくなった一因として、蛇行を維持・強化する波のエネルギー（専門的には波の活動度フラックスという）がヨーロッパ方面から伝播してきており、この強さがこの時期としては1979年以降、最大規模であったことが考えられる（図トピックス-3）。

この偏西風の蛇行を強めるエネルギーがアジアから太平洋に伝わり、アジアから北米の各地に異常気象をもたらした。この様子を図トピックス-4に示す。ヨーロッパ方面から伝わったエネルギーが、7月中旬前半に、中央アジアで谷を深め、谷に向かって北から流れ込んだ寒気により、中央アジアでは異常低温に見舞われた。その後、中国で尾根を強め、中国中部では上空の強い高気圧に覆われたため、異常高温に見舞われた。日本付近では谷が深まり、上述のように大雨と遅い梅雨明けにつながった。韓国でも同じ原因により、大雨に見舞われた。その後、太平洋上をエネルギーが伝播し、下旬には米国西部に達し、この地域に熱波をもたらした。

このように、偏西風の蛇行を強めるエネルギーが西から東に伝わり、同じ位置で偏西風の蛇行が維持されることにより、世界各地に次々と異常気象をもたらすことは、時折みられる現象である。



図トピックス-3 偏西風の蛇行を強めるエネルギー（波の活動度フラックスの東西成分）の年々変動
期間は2006年7月10～19日で、ユーラシア大陸から太平洋西部の中緯度帯（北緯40～50度、東経0～180度）で領域平均している。値は1979～2006年の平均からの差で、同期間の標準偏差で割って規格化している。



図トピックス-4 2006年7月15日から24日までの平均的な偏西風の流れ
赤線は7月15日～24日の上空約12,000mの平均的な大気の流れを示す。実際には、偏西風の蛇行を強めるエネルギーの伝播により、中央アジアで最初に谷が深まり、中国で尾根が張り、日本付近で谷が深まるというように、時間差をもって蛇行が強まった。これらの偏西風の蛇行により、7月中旬から下旬にかけて世界各地で図に示した異常気象が発生した。

表トピックス-1 2006年の梅雨明け・梅雨時期の降水量平年比と階級

地域名	梅雨明け ¹⁾		梅雨期間降水量 平年比(階級) ²⁾
	2006年	平年	
沖 縄	6月20日ごろ(0)	6月23日	133%(+)
奄 美	6月22日ごろ(-)	6月28日	151%(+)*
九州南部	7月25日ごろ(+)*	7月13日	116%(+)
九州北部	7月26日ごろ(+)	7月18日	140%(+)
四 国	7月26日ごろ(+)	7月17日	118%(+)
中 国	7月26日ごろ(+)	7月20日	147%(+)*
近 畿	7月27日ごろ(+)	7月19日	139%(+)
東 海	7月26日ごろ(+)	7月20日	101%(0)
関東甲信	7月30日ごろ(+)	7月20日	120%(+)
北 陸	7月30日ごろ(+)	7月22日	155%(+)*
東北南部	8月 2日ごろ(+)*	7月23日	155%(+)
東北北部	8月 2日ごろ(+)	7月27日	83%(-)

1) 梅雨明けには平均的に5日間程度の遷移期間があり、その遷移期間のおおむね中日をもって「**日ごろ」と表現する。記号の意味は、(+)*: かなり遅い、(+): 遅い、(0): 平年並、(-): 早い、(-)*: かなり早い、の階級区分を表す。

2) 全国153の気象台・測候所等での観測値を用い、梅雨の時期(6~7月、沖縄と奄美地方は5~6月)の地域平均降水量平年比で示した。記号の意味は、(+)*: かなり多い、(+): 多い、(0): 平年並、(-): 少ない、(-)*: かなり少ない、の階級区分を表す。

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 153 地点の気象台や測候所と約 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、2006年の監視結果を示す。なお、2007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 2006年の世界の天候

1.1.1 2006年の世界の天候の特徴

図1.1-1、図1.1-2に2006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月の値として30年に1度程度の極端な値となった場合を指している。なお、月や季節ごとの天候に関する図表類は省略する。

年平均気温はシベリア南部、オーストラリア沿岸部などを除き、平年を上回り、中国から中東、ヨーロッパ西部、北米東部などでかなり高くなった（図1.1-1）。ヨーロッパやシベリア、オーストラリアで異常低温もみられたが、アジアからヨーロッパの広い範囲で異常高温となる月が多く（図1.1-3）、特に年後半に多くみられた。

年降水量は東・西シベリア、インド周辺、アフリカ南東部、カリブ海東部周辺、オーストラリア北西部などで多く、異常多雨もこれらの地域で多かった（図1.1-2、図1.1-4）。一方、モンゴルから中国北部、ヨーロッパ南部、オーストラリア南東部、インド洋東部などで少なく、異常少雨もこれらの地域で多かった（図1.1-2、図1.1-4）。

1.1.2 地域ごとの天候の特徴

2006年の世界の地域ごとの天候の特徴は以下のとおりである。表1.1-1と図1.1-5に2006年に発生した世界の主な気象災害をまとめた。気象災害の被害等は国連の関連機関であるCRED-EMDAT（ルーベンカトリック大学・ベルギー）の災害データベースにもとづいている。

(1) 東アジア・シベリア

年平均気温はシベリア南部を除き高く、中国では年後半に広い範囲で異常高温となる月が多かった。年降水量は、東シベリア、西シベリアから中央アジアで多く、モンゴルで少なかった。中国北部では春と秋に、中国南西部では夏に異常少雨となる月が多かった。朝鮮半島から日本では7月に梅雨前線の活動が活発で異常多雨となった。

(2) アジア南部

年平均気温は全般に高く、年後半に広い範囲で異常高温となる月が多かった。年降水量は、パキスタンからインド、フィリピン南部で多く、インド北東部で少なかった。東南アジアでは北部で異常多雨となる月が多かったが、インドネシアでは年後半に異常少雨がみられた。インド付近では、パキスタンやインド西部を中心に異常多雨となる月が多かった。

(3) ヨーロッパ

年平均気温は全般に高かった。ヨーロッパ西部では4月以降、広い範囲で異常高温となる月が多かった。年降水量は、ヨーロッパ北部で多く、ヨーロッパ南部で少なかった。ヨーロッパの北部では秋以降に異常多雨が続き、南部では春以降に異常少雨となる月が多かった。

(4) アフリカ・中東

データのある地域については、年平均気温は全般に高かった。アフリカ北部から中東では6月や8月などに広い範囲で異常高温となった。年降水量はアフリカ北西部の大部分、アフリカ南東部からインド洋西部で多く、アフリカ北西部や中東の一部で少なかった。

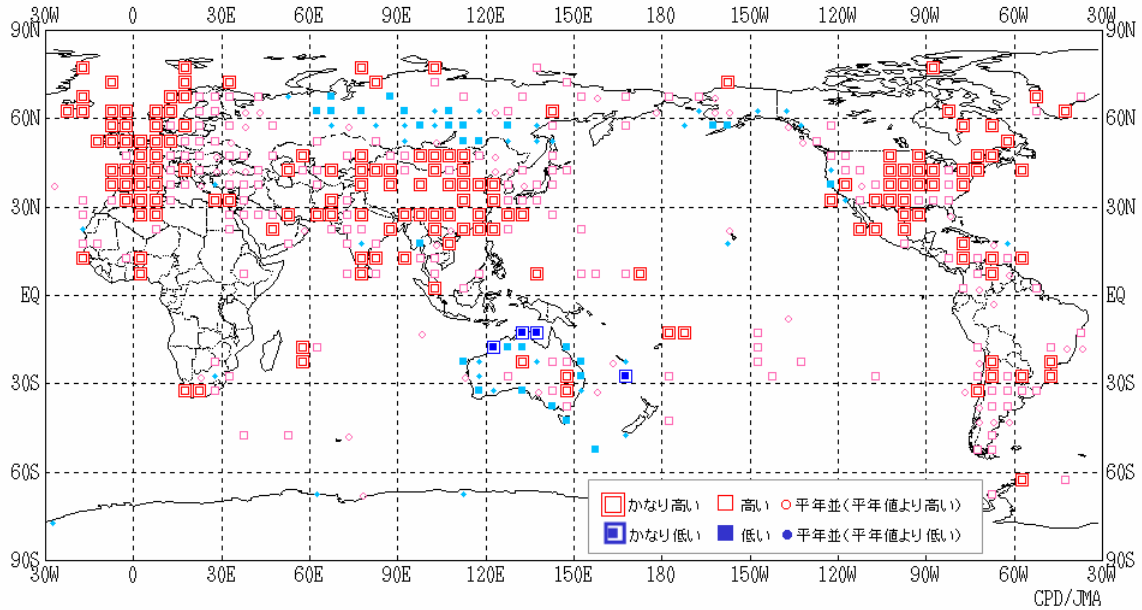


図 1.1-1 年平均気温平年差規格化階級分布図 (2006 年)

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。陸地でマークが表示されていない地域は、観測データが十分でないか、平年値がない領域を示す。

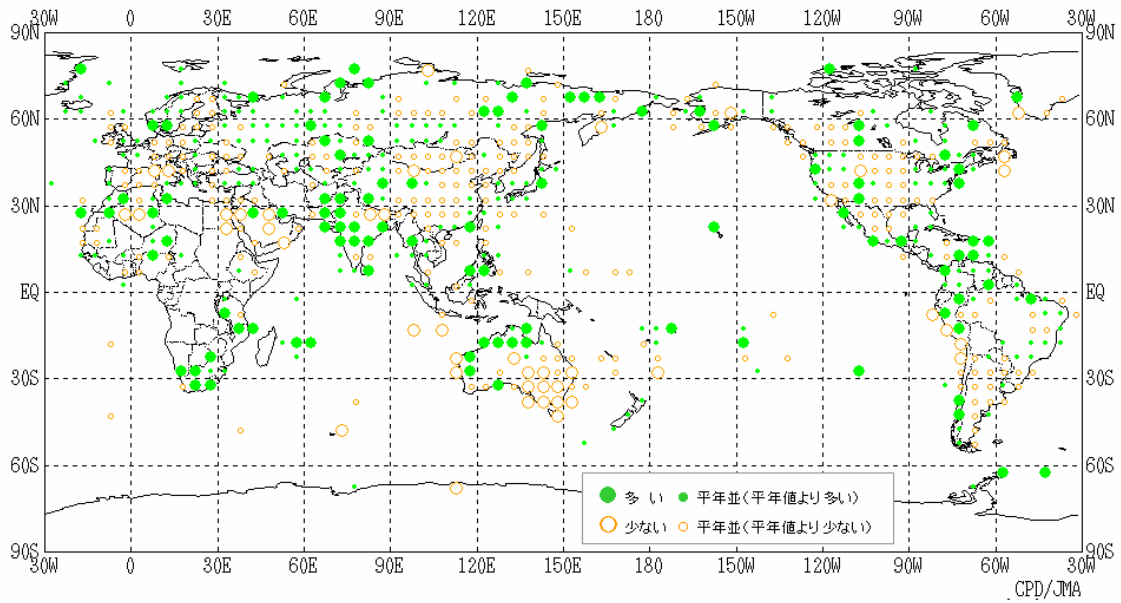


図 1.1-2 年降水量平年比分布図 (2006 年)

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。陸域でマークが表示されていない地域は、観測データが十分でないか、平年値がない領域を示す。

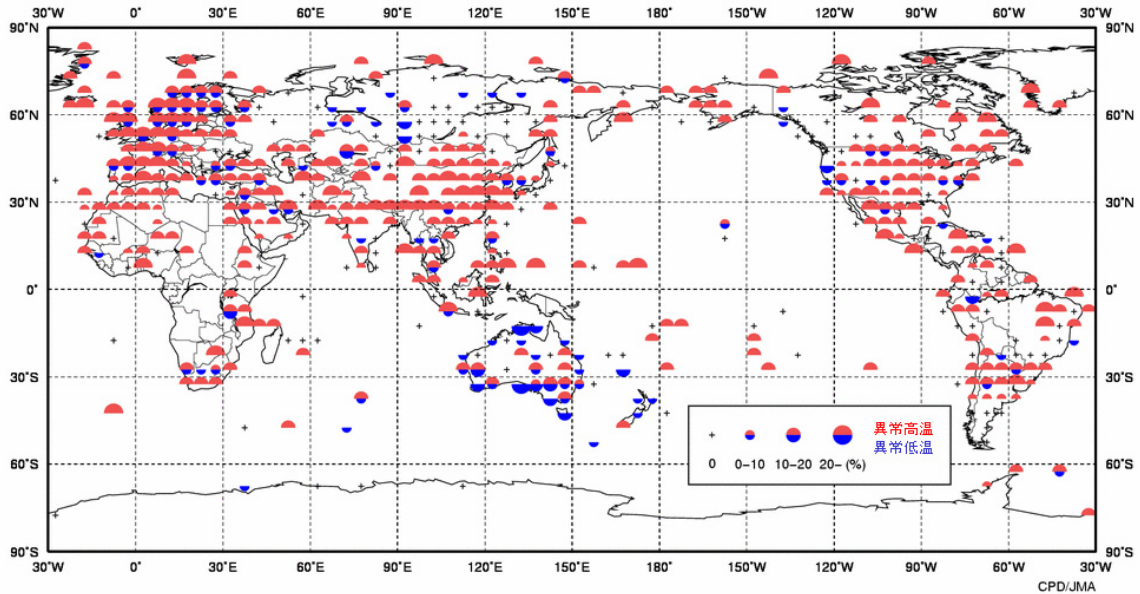


図 1.1-3 異常高温・異常低温出現頻度分布図（2006 年）

緯度・経度 5 度の領域ごとに含まれる観測点で観測された月ごとの異常高温・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。

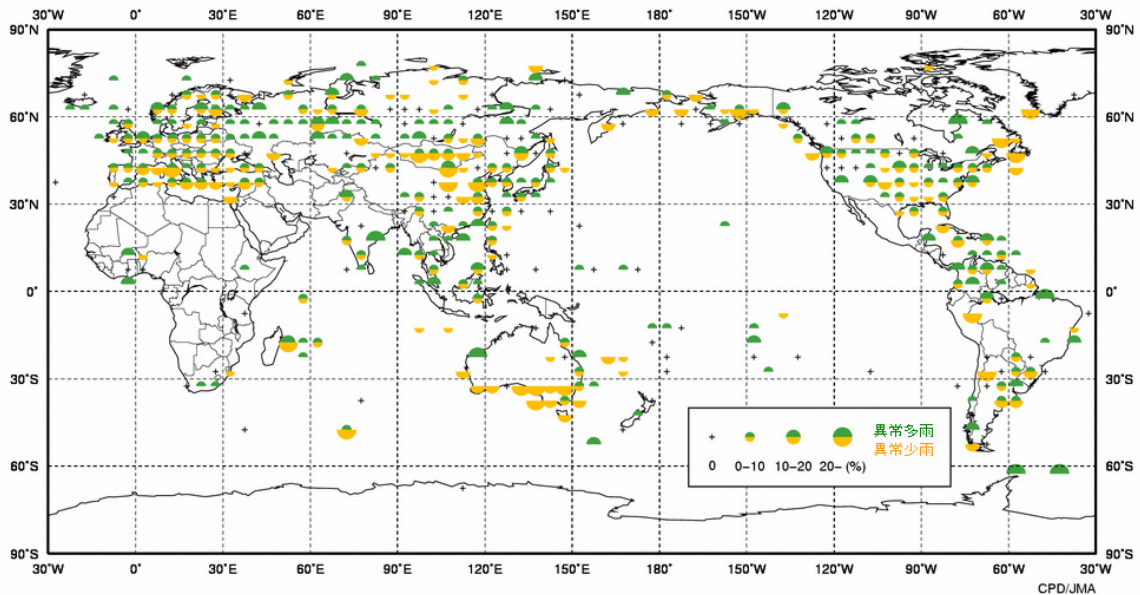


図 1.1-4 異常多雨・異常少雨出現頻度分布図（2006 年）

緯度・経度 5 度の領域ごとに含まれる観測点で観測された月ごとの異常多雨・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。

(5) 北アメリカ

年平均気温は北米北西部を除いて全般にかなり高かった。1月や4月などに広い範囲で異常高温となった。年降水量はカナダ東部から米国北東部、カナダ中部から米国北西部、米国南西部からメキシコ西部沿岸部、カリブ海東部周辺で多く、米国中部で少なかった。米国北東部では6月、9月、10月に異常多雨となった。

(6) 南アメリカ

データのある地域については、年平均気温は全般に高く、異常高温となる月が多かった。年降水量はベネズエラ付近やチリ南部で多かった。ベネズエラ付近では年前半に異常多雨となる月が多かった。

(7) オセアニア

年平均気温はオーストラリア東部の内陸部、ミクロネシアからポリネシア南部で高く、オーストラリアの沿岸部では低かった。オーストラリアでは4～5月に広い範囲で異常低温となった。年降水量はオーストラリア北西部、メラネシア北部などで多く、オーストラリア南東部やインド洋東部で少なかった。オーストラリア南東部では年後半に異常少雨となる月が多かった。

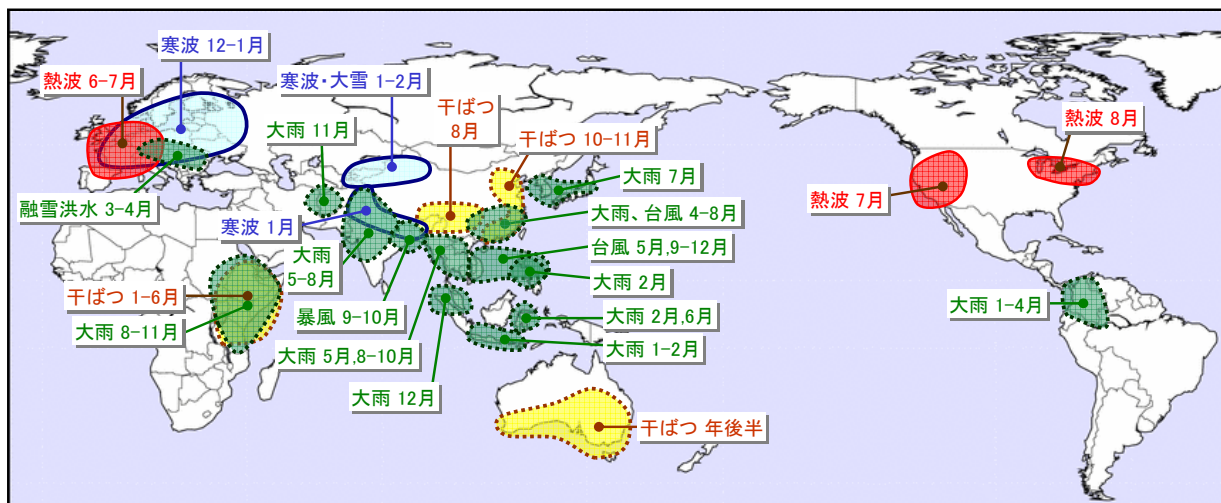


図 1.1-5 2006 年の主な気象災害分布図

2006 年中の気象災害のうち、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。

1.2 世界の気温と降水量

2006 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℃で、1891 年の統計開始以降、1998 年、2005 年について第 3 位の高温となった。近年は気温の高い状態が続いており、最近の 10 年（1997～2006 年）はすべて統計開始以後の 11 位までに入っている（図 1.1-6）。

世界の年平均気温は、数年程度から数十年程度の時間スケールの大気や海洋の自然変動の影響を受けながら、長期変化傾向としては、統計のある 1891 年以降でみると 100 年あたりおよそ 0.67℃の割合で上昇している。20 世紀半ば以降に観測された長期的な気温の上昇傾向の大部分は、人為起源の温室効果ガス濃度の増大によってもたらされた可能性がかなり高い。2006 年の北半球平均の気温は、1891 年の統計開始以降、2005 年について 2 番目に高くなった。100 年あたりの気温上昇率は、北半球平均の気温が約 0.68℃、南半球平均の気温が約 0.66℃である。

一方、世界各地の観測所（およそ 1,200 地点）で観測された降水量から計算した 2006 年の世界の年平均降水量の平年比は、102%であった。1880 年の統計開始以降、世界全体や北半球では顕著な長期的変化傾向はみられないものの、南半球では顕著な長期的増加傾向がみられる（図 1.1-7）。

表 1.1-1 世界の主な気象災害（2006年1月～12月）

CRED-EMDAT 等により作成

現象	地域（時期）	概要
大雨	日本～朝鮮半島（7月）	梅雨前線の活動が活発で大雨となり、日本で30人、韓国で40人以上、北朝鮮で270人以上の死者が報じられた。
洪水	中国（4～8月）	中国南部の各地で大雨が発生し、合計400人以上の死者が報じられた。
台風	中国南東部（5～8月）	5月に台風第1号、7月に第4号と第5号、8月に第6号と第8号が接近・上陸し、合わせて1400人以上の死者が報じられた。
干ばつ	中国（8月、10～11月）	8月には中国南西部、10月から11月には東北区から華南で干ばつの被害が報じられた。（中国気象局）
大雨・地滑り	インドネシア（1～2月、6月）、フィリピン（2月）	インドネシアでは大雨や地すべりにより、1～2月に合計200人以上、6月にはスラウェシ島で230人以上の死者が報じられた。フィリピンのレイテ島では2月に地滑りにより1000人以上が死亡と報じられた。
台風	フィリピン・ベトナム（5月、9～12月）	フィリピンでは5月の台風第1号、9月末の第15号、10月末の第19号、11月末の第21号により合計1000人以上、ベトナムでは台風第1号、第15号、第21号により合計350人以上の死者が報じられた。
大雨	タイ（5月、8～10月）	5月にモンスーン開始期の大雨により110人以上、8月以降のモンスーンや台風第15号（シャンセン）が弱まった低気圧による大雨などにより、合わせて160人以上が死亡したと報じられた。
大雨・地すべり	インドネシア、マレーシア（12月）	12月後半に、インドネシア北部やマレーシアで大雨となり、合わせて200人以上の死者が報じられた。
寒波	インド（12～1月）	前年12月からの寒波により、インドで180人の死者が報じられた。
大雨・洪水・地滑り	インド・パキスタン（5～8月）、ネパール（8月）	モンスーンの大雨・洪水・地すべりにより、インド全体で640人以上、パキスタンで110人以上、ネパールでは8月に150人以上が死亡したと報じられた。
低気圧、熱帯低気圧	インド、バングラデシュ（9～10月）	9月のモンスーン低気圧や10月のトロピカルストームにより、インド東部で100人以上、バングラデシュで110人以上の死者が報じられた。
寒波	ヨーロッパ（前年12月～1月）	前年12月中旬から1月末にかけてたびたび寒波に見舞われ、ロシアやヨーロッパ東部で合わせて1000人以上の死者が報じられた。
融雪洪水	ヨーロッパ東部（3～4月）	3～4月にはドナウ川流域などで融雪洪水の被害が報じられた。
熱波	ヨーロッパ（6～7月）	熱波により、ヨーロッパ中部を中心に合わせて2000人以上の死者が報じられた。
大雨	アフガニスタン（11月）	アフガニスタン西部で11月中旬に続けて大雨が発生し、合わせて160人以上が死亡したと報じられた。
干ばつ、大雨	アフリカ東部（1～11月）	前半はアフリカ東部で干ばつの被害が報じられたが、8月にはエチオピアで洪水により800人以上、その後もソマリア、ケニアなどで大雨の被害が発生し、11月には合計100人以上の死者が報じられた。
熱波	米国（7～8月）	米国西部は7月中旬から下旬に、北東部は8月上旬に熱波に見舞われ、合計180人以上が死亡と報じられた。
大雨	コロンビア（1～4月）	1月から4月に大雨が多く発生し、合計150人以上の死者が報じられた。
干ばつ	オーストラリア（年後半）	オーストラリアでは6月以降の降水量が史上最低水準となり、小麦の収穫量は2005年の4割弱と伝えられた。（オーストラリア気象局、オーストラリア農業資源経済局）

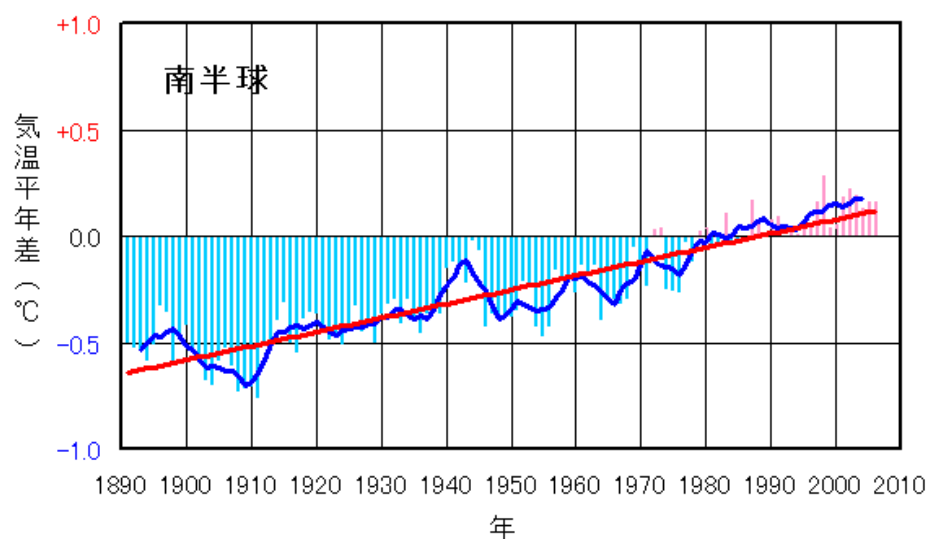
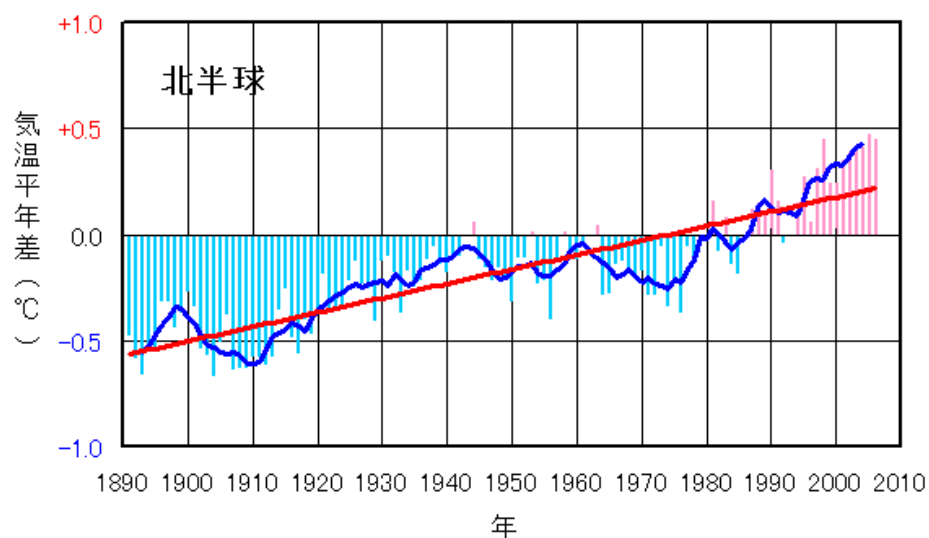
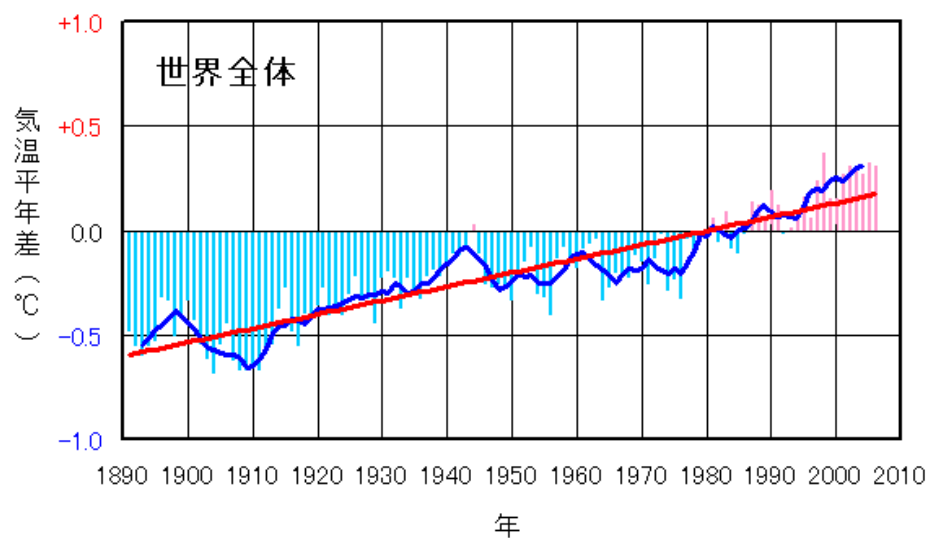


図 1.1-6 年平均気温の変化 (1891~2006 年)

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平年差（平年値との差）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。

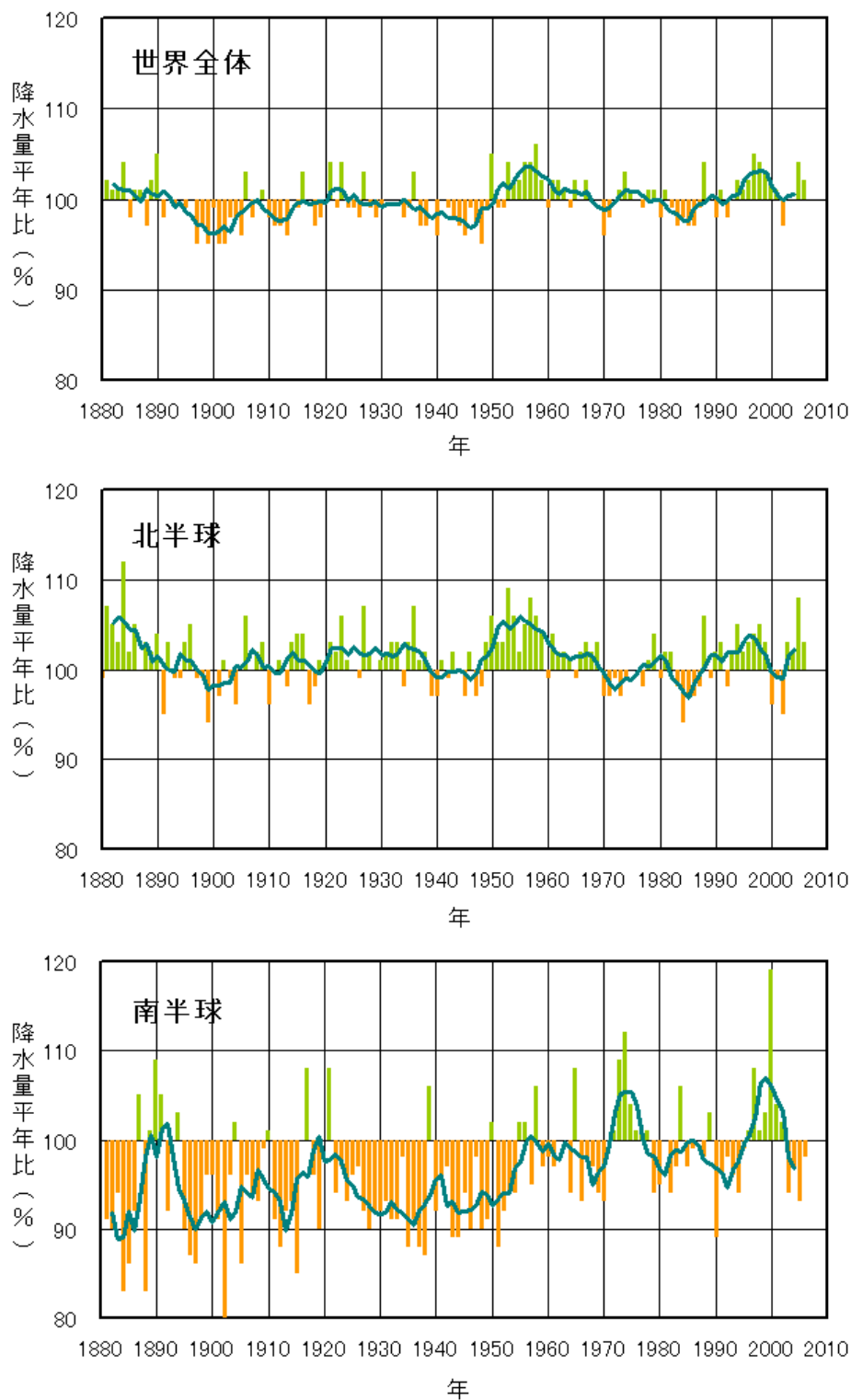


図 1.1-7 年降水量の変化 (1880~2006 年)

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。

【コラム】南極昭和基地の気候

2006年の年平均気温は -11.0°C で、平年値(1971~2000年)の -10.5°C より 0.5°C 低かった。2006年の月別平均気温をみると、1~4、6、9、11、12月はほぼ平年並、5、8月は平年より 2°C 以上高かった。

一方、7、10月は平年より 2°C 以上低くなった。特に7月は 6.6°C 低く、これまでの極値 -21.8°C (1984年)を更新し -24.1°C となった。これは、これまで月別の極値で最も低かった -23.6°C (1997年9月)を -0.5°C 更新した。

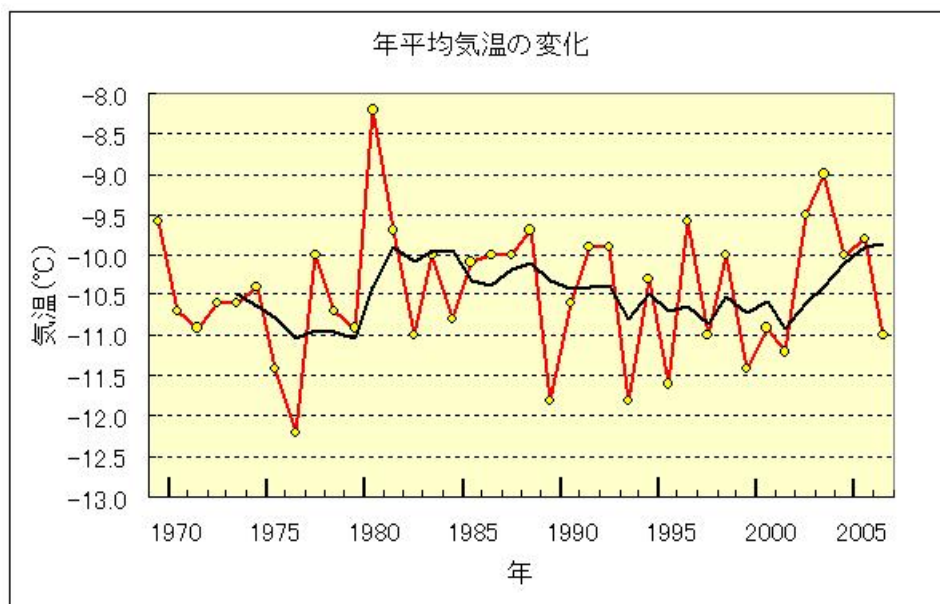


図 1.1-8 南極昭和基地の年平均気温の経年変化 (赤：年平均気温、青：5年移動平均)

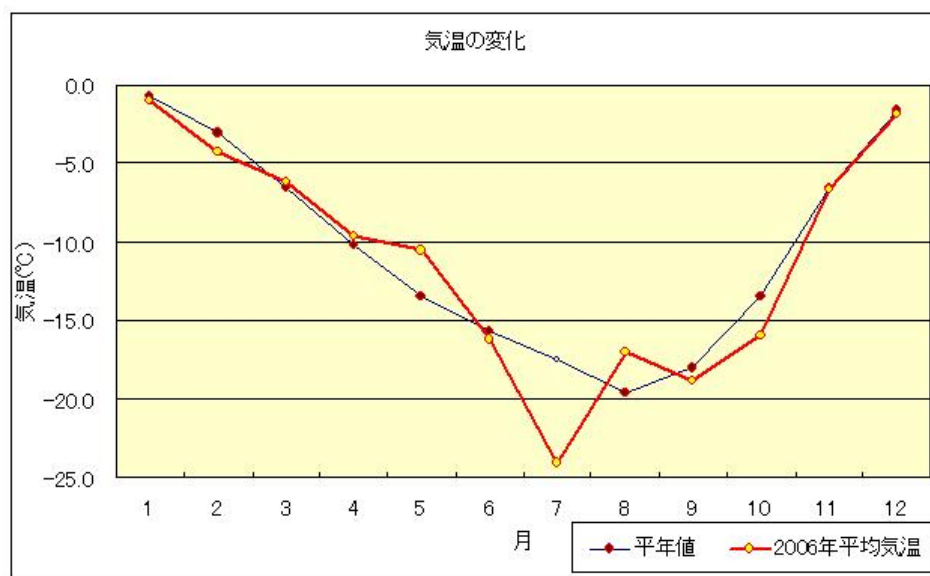


図 1.1-9 2006年の南極昭和基地の気温の変化

第2章 日本の気候

2.1 2006年日本の天候の概要

平成17年12月から平成18年1月上旬にかけて強い冬型の気圧配置が断続的にあられ、日本海側では20年ぶりの記録的な大雪となった。1月中旬以降は、気温の変動が大きくなったが、山沿いを中心とした大雪と雪崩・融雪が繰り返される状況が続いた。この記録的な大雪に対し気象庁は「平成18年豪雪」と命名した。

春は気温の変動が大きく、春の平均気温は南西諸島で高かったが、北・東・西日本は平年並となった。また、4月に動きの遅い寒冷低気圧や前線の影響で全国的に天気がぐずつき、5月は前線が本州南岸に停滞し曇りや雨の日が多くなるなど、春は低気圧や前線の影響を受けやすく、北・東・西日本で日照時間が顕著に少なかった。

梅雨入りは、ほぼ平年並か平年より遅かったが、梅雨前線の活動は活発で、全国的に大雨が発生した。特に、7月15日から24日にかけては、本州から九州にかけての広い範囲で豪雨となったため、大きな災害が発生し、気象庁は「平成18年7月豪雨」と命名した（詳細はトピックスを参照）。梅雨明けは、南西諸島で平年より早く、九州地方から東北地方にかけては平年より遅かった。このため、6月から7月にかけて南西諸島を除き日照時間の少ない状況が続き、夏の日照時間は、ほぼ全国的に少なかった。一方、梅雨明け以降は太平洋高気圧に覆われて晴れの日が続き、西日本を中心に8月には顕著な高温となるなど、夏の平均気温は全国的に高かった。

秋は寒気の南下が一時的で、全国的に移動性高気圧に覆われて、晴れて暖かい日が多かった。秋の平均気温は全国で高温となり、特に10月は東日本と西日本で記録的な高温となった。秋雨前線の活動は全般に弱く、西日本から南西諸島にかけては顕著な少雨となった。日照時間も全国的に平年を上回った。一方、発達した低気圧が通過しやすかった北・東日本では大雨となることもあり、また、11月には大気の状態が不安定となりやすく、各地で短時間強雨や竜巻などが観測され、北海道佐呂間町では竜巻により大きな被害が発生した。

12月も冬型の気圧配置が平年に比べあられにくかったため全国的に高温となったほか、日本海側の降雪量は平年を下回った。

台風発生数は23個（平年26.7個）と少なく、接近数は10個（平年10.8個）と平年並だった。年間の上陸数は2個（平年2.6個）だった。9月中旬の台風第13号の接近・上陸により九州地方を中心に大きな被害があり、宮崎県延岡市では台風とともに竜巻が発生した。

2.1.1 年間（表1.2-1、図1.2-1参照）

(1) 年平均気温

2006年の日本の年平均気温の平年差は+0.44℃で、統計を開始した1898年以降では、高いほうからの第10位であった（都市化の影響の少ない17地点の解析結果：2.3節参照）。地域ごとに平均した年平均気温は、北日本+0.4℃、東日本+0.4℃、西日本+0.6℃、南西諸島+0.6℃で、4地域とも高かった。

(2) 年降水量

年降水量は東日本日本海側と南西諸島で平年並のほかは多かった。梅雨時期には全国的に多雨であったが、秋に西日本から南西諸島で少雨となった。東北地方の太平洋側や九州地方などでは、平年の120%以上のところがあり、小名浜（福島県）では年降水量の最大値を更新した。

(3) 年間日照時間

年間日照時間は全国で少なく、北・東日本の太平洋側ではところどころで平年の90%未満となった。春から梅雨時期にかけてほぼ全国的に寡照状況が続いた。潮岬（和歌山県）では、年間日照時間の最小値を更新した。

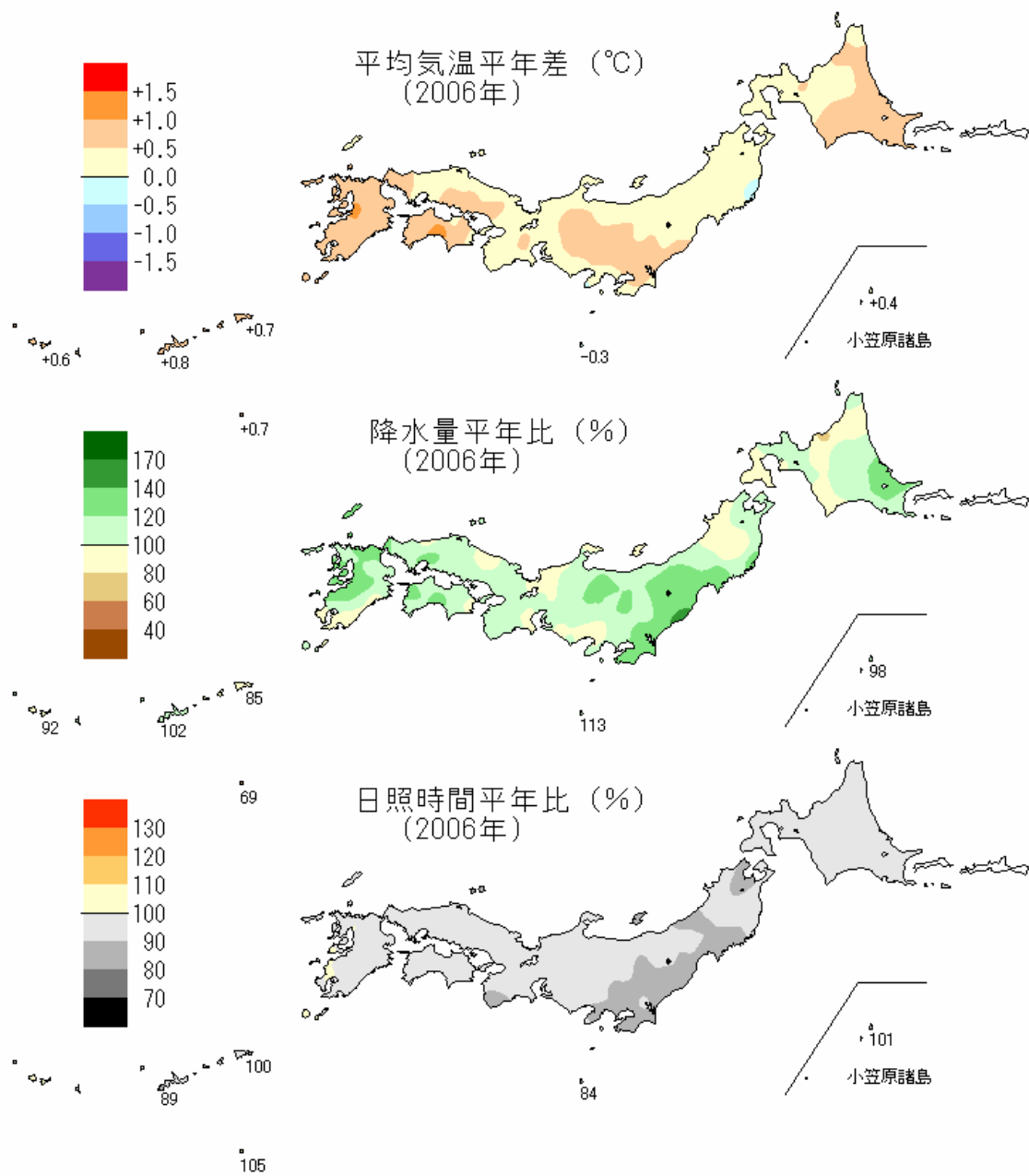


図 1.2-1 日本における 2006 年の年平均気温、年降水量および年間日照時間の平年差（比）分布

2.1.2 季節ごとの天候（図 1.2-2 参照）

(1) 冬（2005年12月～2006年2月）

12月から1月上旬にかけて非常に強い寒気が日本付近に南下し、強い冬型の気圧配置が断続的にあらわれたため日本海側では記録的な降雪となった。1月中旬以降は気温の変動が大きくなったが、山沿いを中心に一時的な大雪と雪崩・融雪が繰り返される状況が続き、積雪を観測している339地点のうち23地点で積雪の最大記録を更新した。この大雪により、雪下ろし中の事故等の人的被害があり、交通機関等への大きな影響があった。このほか、低気圧や前線の影響を受ける日も多く、東・西日本太平洋側の地方を中心に曇りや雨または雪の日が多くなり、東日本太平洋側でも大雪となる日があった。

平均気温は北・東・西日本で低く、南西諸島で平年並だった。降水量は、北日本太平洋側、南西諸島で平年並のほかは多かった。日照時間は全国的に少なく、特に東日本日本海側と南西諸島ではかなり少なかった。

(2) 春（3～5月）

3月は、西日本太平洋側と南西諸島で高気圧に覆われ晴れの日が多かったが、北日本と東日本日本海側は低気圧や一時冬型の気圧配置が強まった影響で曇りや雨または雪の日が多く、大雪となる場所もあった。4月は、動きの遅い寒冷低気圧や前線の影響で全国的に曇りや雨の日が多く、北～西日本は低温となった。5月は、北日本では北海道を中心に高気圧に覆われ晴れの日が多かったが、中旬を中心に前線が本州南岸に停滞したため、東日本～南西諸島は曇りや雨の日が多く、多雨となった。このため、日照時間は北～西日本でかなり少なく、東日本日本海側は1946年の統計開始以降1位の少ない記録を更新した。北日本は3月と5月に高温となったが、4月は寒気の影響で顕著な低温となるなど気温の変動が大きかった。

平均気温は、南西諸島で高いほかは平年並だった。降水量は、北日本、東日本日本海側と西日本で多いほかは平年並だった。日照時間は、北・東・西日本でかなり少なく、南西諸島は平年並だった。

(3) 夏（6～8月）

梅雨入りは、ほぼ平年並か平年より遅かった。梅雨前線の活動は活発で、6月前半には南西諸島、6月後半から7月にかけては東日本から西日本にかけての広い範囲で大雨となった。梅雨明けは、九州地方から東北地方にかけて平年より遅かった。このため、南西諸島を除き寡照状況が続いた。8月には太平洋高気圧に覆われ晴れの日が多くなったが、3か月日照時間はほぼ全国的に少なく、8月も東よりの湿った気流の影響を受け曇ることが多かった関東甲信地方や北日本太平洋側ではかなり少なかった。6月前半や7月後半にオホーツク海高気圧の影響などを受け一時的な低温があり、また、8月には西日本を中心に高温となるなど気温の変動が大きかった。台風の発生は11個。台風第10号が、宮崎県に上陸し、九州地方や四国地方の一部で大雨となった。

平均気温は、全国で高かった。降水量は、西日本で多く、北日本日本海側では少なく、その他の地方では平年並だった。日照時間は、東・西日本日本海側で平年並のほかは少なかった。

(4) 秋（9～11月）

寒気の南下は一時的で、移動性高気圧に覆われたため、晴れて暖かい日が全国的に多く、10月は東・西日本で記録的な高温となった。秋雨前線の活動は全般に弱く、西日本から南西諸島にかけては低気圧の活動も弱かった。このため、西日本から南西諸島にかけては少

雨となり、梅雨明け以降降水量の少ない状態が続いていた奄美地方や大東島地方などで渇水が深刻となった。東日本や北日本も晴れの日が多かったが、南からの暖かく湿った気流により発達した低気圧の通過にともない、関東地方から北海道にかけての太平洋側では大雨となった。また、11月には前線近傍で大気の状態が不安定となりやすく、各地で積乱雲による短時間強雨や竜巻などが観測され、被害が発生した。春から夏にかけて日照時間が全国的に少なかったが、秋は全般に平年を上回った。

台風が発生は9個。9月16日から20日にかけて台風第13号が先島諸島を通過し長崎県に上陸したあと、日本海を北上した。この影響で西日本や南西諸島では暴風や大雨、竜巻による大きな被害が発生した。

平均気温は、全国で高かった。降水量は、北日本太平洋側で多く、西日本、南西諸島は少なく、東日本と北日本日本海側は平年並だった。日照時間は、北日本太平洋側と南西諸島で平年並のほかは多かった。

(5) 冬 (12月)

上旬に一時寒気が入ったものの、その後は暖かな日が続き、月平均気温は全国で高温となった。また、本州の南岸を低気圧が通ることが多く、全国的に曇りや雨の日が多かった。このため、ほぼ全国的に多雨・寡照となった。25日から27日にかけては、低気圧が発達しながら本州南岸から北日本の太平洋岸を通過した影響で、太平洋側を中心に広い範囲で大雨となった。冬型の気圧配置となる日が少なかったことから、日本海側の地方では全国的に降雪量が平年を下回り、特に、北・東日本の日本海側で少なかった。

平均気温は、全国で高かった。降水量は、北日本、東日本、西日本太平洋側、南西諸島で多く、特に、北・東・西日本太平洋側で顕著だった。西日本日本海側では平年並だった。日照時間は、北日本、東日本、西日本太平洋側、南西諸島で少なく、西日本日本海側では平年並だった。

表 1.2-1 2006 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「タイ地点数」として横に併記した。
 更新およびタイ記録の地点数の合計が 5 以上のとき地域名を記載。

	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	0	0	0	5 北・東日本	0	1	0	1
2 月	0	0	0	0	0	0	0	1 ㍈
冬	0	0	0	1	0	0	6 北・西日本	
3 月	1 ㍈	0	0	0	1	2	0	0
4 月	0	0	1	0	0	14 北・西日本	0	0
5 月	0	0	1	0	0	6 北・東・西 日本		
春	0	0	3	0	0	8 北・東・西 日本		
6 月	0	0	1	2	0	0		
7 月	1	0	8 東・西日本	0	0	9 北・東日本		
8 月	4、1 ㍈ 西日本	0	0	1、1 ㍈	0	0		
夏	0	0	0	0	0	0		
9 月	0	0	0	0	1	1		
10 月	9、5 ㍈ 西日本	0	0	7 西日本 南西諸島	9 北・西日本 南西諸島	0		
11 月	0	0	1	0	0	0	0	0
秋	1	0	0	0	0	0		
12 月	1	0	9 北・東・西 日本	0	0	2	0	0
年 (2006 年)	0	0	1	0	0	1		

(注) 基礎となるデータは全国の気象台・測候所等での観測値で、観測所数は 153 地点である。このうち、降雪の深さ、最深積雪については、観測を行っている 123 地点が対象である。

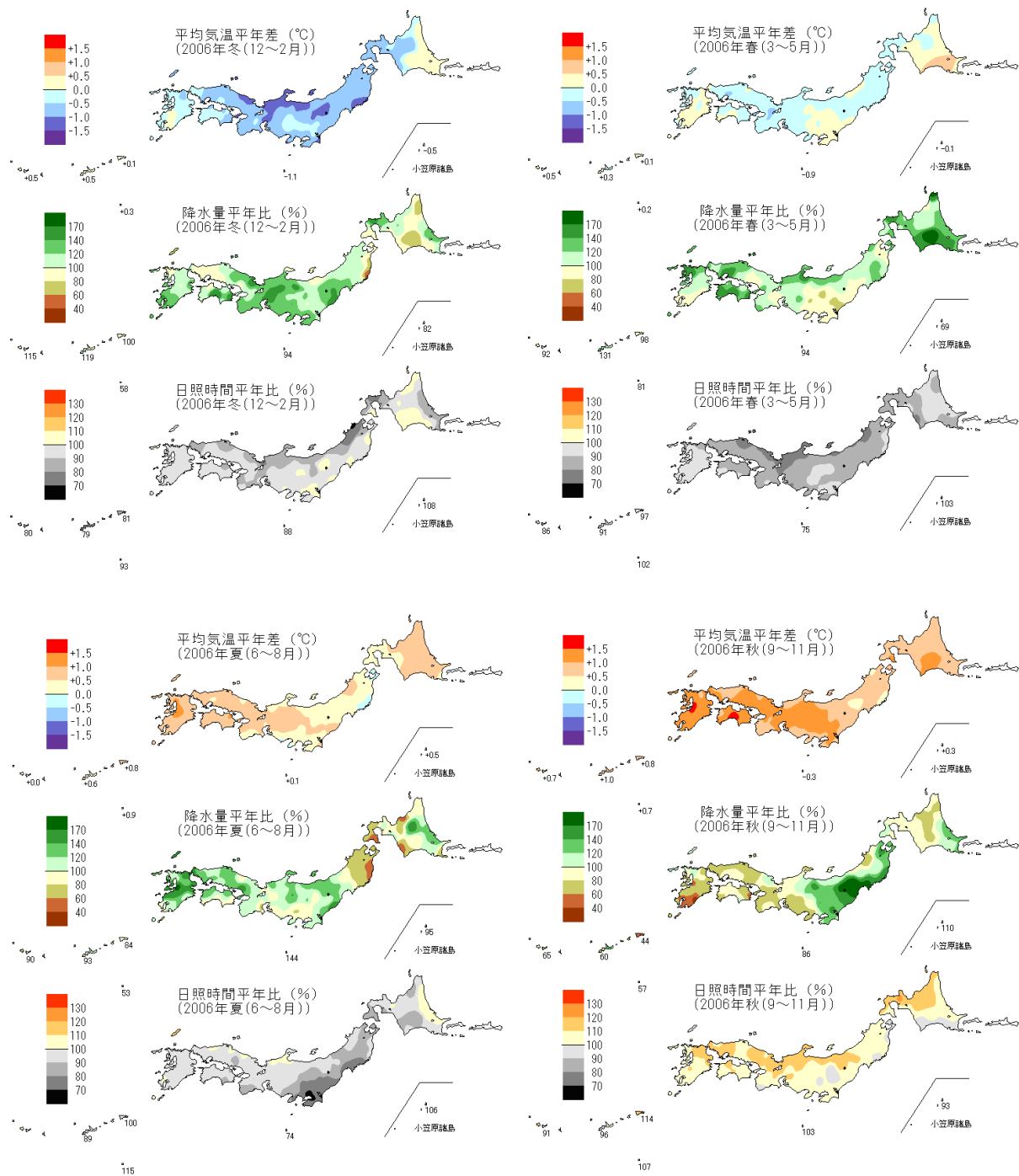


図 1.2-2 日本における 2006 年の季節別（冬、春、夏、秋）の平均気温、降水量、日照時間の平年差（比）

2.2 日本の主な気象災害

2006年の気象災害の特徴は、「平成18年豪雪」による被害が大きかったことと、宮崎県延岡市や北海道佐呂間町で台風や前線にともなって発生した竜巻による被害が大きかったことである。2006年の気象災害による被害の合計は、死者・行方不明322人、住家損壊17,508棟、住家浸水14,022棟、被害額760億円（内訳：農業被害381億円、水産業被害224億円、林業被害155億円）であった（2007年2月8日現在）。

2006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2006年までの気象災害の被害状況を表1.2-3に示す。

○平成18年豪雪（2005年12月～2006年3月）

2005年12月から2006年1月上旬にかけて非常に強い寒気が日本付近に南下し、強い冬の気圧配置が断続的にあらわれたため、日本海側では記録的な大雪となり、各地で積雪の12月の最大記録を更新した。また、1月中旬以降も日本海側の山沿いを中心に大雪となる日がたびたびあった。このため、12月中旬から1月中旬を中心に、屋根の雪下ろし等除雪中の事故や、倒壊した家屋の下敷きになるなど、全国で死者・行方不明152人となったほか、住家損壊4,713棟の被害があった。なお、気象庁はこの豪雪について、「平成18年豪雪」と命名した。

○強風、雪崩（4月8～9日）

8日から9日にかけて、低気圧が日本海から三陸沖へ発達しながら進み、長野、岐阜県の山岳では大荒れとなったほか、9日には雪崩が発生した。これによる被害は、死者・行方不明10人であった。

○酷暑（7月13～15日）

太平洋高気圧に覆われて西日本を中心に気温が上昇した。これによる被害は、死者5名であった。

○平成18年7月豪雨（7月15～24日）

15日から24日にかけて、九州から本州付近にのびた梅雨前線の活動が活発となり、長野、島根、熊本、鹿児島県などでは、総雨量が7月の月間平均雨量の2倍を超えるなど記録的な大雨となった。この大雨により、長野、鹿児島県を中心に九州、山陰、近畿、および北陸地方などで土砂災害や浸水害が発生し、死者・行方不明30人、住家損壊1,708棟、住家浸水6,996棟の被害があった。なお、気象庁はこの豪雨について、「平成18年7月豪雨」と命名した。

○大雨（8月22～24日）

暖かく湿った空気が流れ込み、また上空の寒気の影響で大気の状態が不安定となり、東北から九州のところどころで雷をともなった大雨となった。これにより、死者・行方不明2人、住家損壊2棟、住家浸水1,160棟の被害があった。

○台風第13号（9月15～20日）

台風第13号は、16日早朝に石垣島付近を通過したあと、沖縄本島の西海上を北東に進み、17日には中心付近の最大風速が40m/sと強い勢力で九州地方に接近し、同18時過ぎに長崎県佐世保市付近に上陸した。その後、九州北部を北東進し、20時頃日本海へと進んだ。台風は、20日6時頃に北海道石狩市付近に再上陸し、8時過ぎに網走市付近からオホ

ーツク海に抜け、9 時には温帯低気圧に変わった。この台風と活発な前線の活動により、沖縄、大分、長崎、佐賀、福岡、広島県の一部で総雨量が 9 月の月間平均雨量を超える大雨となったところがあり、また、宮崎県延岡市では竜巻が発生し死者が 3 名となるなど、全国で死者・行方不明 11 人、住家損壊 9,251 棟、農業被害 136 億円の被害があった。

○大雨、強風、波浪（10 月 4～9 日）

本州の南岸に停滞した前線の活動が、台風第 16 号の接近にともない 4 日頃から活発となった。また、5 日 12 時に四国沖で前線上に発生した低気圧が、6 日に急速に発達しながら本州の南岸を進み、さらに発達しながら 7 日には三陸沖、8 日には北海道の東方海上に進んだ。このため関東から北海道地方にかけての太平洋側で最大風速 25m/s を超える暴風となり、海上では波高が 8m を超える大しけとなった。また、近畿から東北地方の太平洋側と北海道のオホーツク海側などで総雨量が 250mm を超える大雨となった。特に北海道網走支庁では総雨量が 10 月の月間平均雨量の 3 倍を超える大雨となった。これにより、住家損壊、浸水害、土砂災害のほか山岳遭難や海難が発生し、全国で死者・行方不明 50 人、住家損壊 1,154 棟、住家浸水 1,206 棟、林業被害 194 億円の被害があった。

○竜巻、強風、波浪（11 月 7～8 日）

前線をともなった低気圧が日本海を発達しながら北東へ進み、7 日日中、寒冷前線が北海道を通過した。寒冷前線の通過にともなって北海道網走支庁佐呂間町で竜巻が発生し、9 人の死者がでた。

表 1.2-2 2006 年の主な日本の気象災害

（注）作成基準は、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 億円以上とした。各都道府県（支庁を含む）の防災機関等からの資料を基に 2007 年（平成 19 年）2 月 8 日現在で集計。2006 年合計については、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	水産業 被害	林業 被害	合計
平成 18 年 豪雪	2005.12 ～2006.3	北海道～中 国	152	4,713	113				
強風、雪崩	4.8～4.9	長野、岐阜	10						
酷暑	7.13～ 7.15	関東、北陸、 東海、九州	5						
平成 18 年 7 月豪雨	7.15～ 7.24	東北～九州	30	1,708	6,996	93		58	151
大雨	8.22～ 8.24	東北～九州	2	2	1,160				
台風第 13 号	9.15～ 9.20	北海道、中 国、四国、九 州、沖縄	11	9,251	934	136	20	18	174
大雨、強風、 波浪	10.4～ 10.9	北海道～四 国	50	1,154	1,206	51	194	48	293
竜巻、強風、 波浪	11.7～ 11.8	北海道～四 国	9	64	2	1			1
2006 年合計			322	17,508	14,022	381	224	155	760

表 1.2-3 2000 年から 2006 年の日本の気象災害の推移

(注) 集計基準は、死者・行方不明 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 億円以上とした。各都道府県（支庁を含む）の防災機関等からの資料を基に 2007 年（平成 19 年）2 月 8 日現在で集計。

種 別	被 害 状 況						
	死者・行方不明 (人)	住家損壊 (棟)	住家浸水 (棟)	被害額（単位：億円）			
				農業被害	水産被害	林業被害	合計
2000年	63	1,413	82,290	430	52	199	681
2001年	110	1,782	12,856	521	33	205	759
2002年	81	2,914	15,918	561	85	163	809
2003年	132	3,120	16,164	2,779	89	205	3,073
2004年	326	103,238	172,504	2,964	597	1,355	4,916
2005年	165	3,955	30,662	578	51	530	1,159
2006年	322	17,508	14,022	381	224	155	760

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 2006 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。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、降水量の計算には、観測データの均質性が長期間継続している 51 地点を対象とした（表 1.2-4）。なお、宮崎は 2000 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、気温の解析に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。

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

2006 年の日本の年平均気温の平年差は+0.44℃であった。気温の変化をみると（図 1.2-3）、長期的な傾向として、統計のある 1898 年以降では 100 年あたりおよそ 1.07℃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できていない。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ともな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たものと考えられる。この傾向は、世界の年平均気温（1.2 節参照）と同様であるとされる。

また、上記 51 地点による 2006 年の年降水量の平年比は 111%であった。降水量の変化をみると (図 1.2-4)、年ごとの変動は大きくなっている。長期的な変化傾向はみられないが、1920 年代半ばまでと 1950 年代頃に多雨期がみられる。

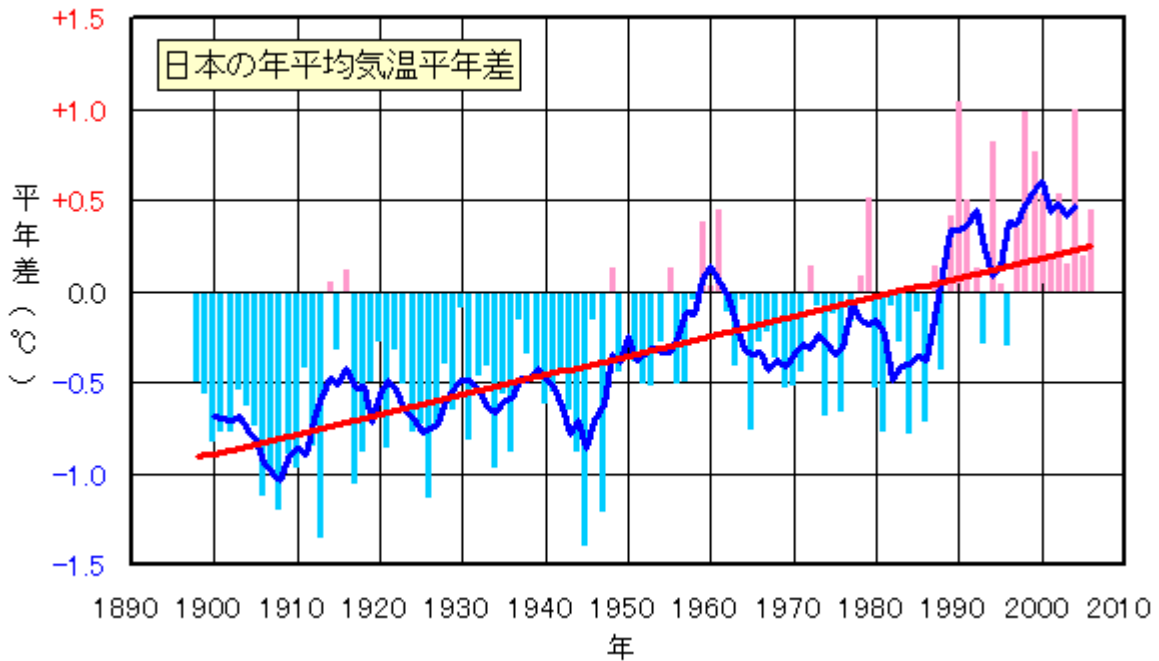


図 1.2-3 日本における年平均気温の経年変化 (1898~2006 年)

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。

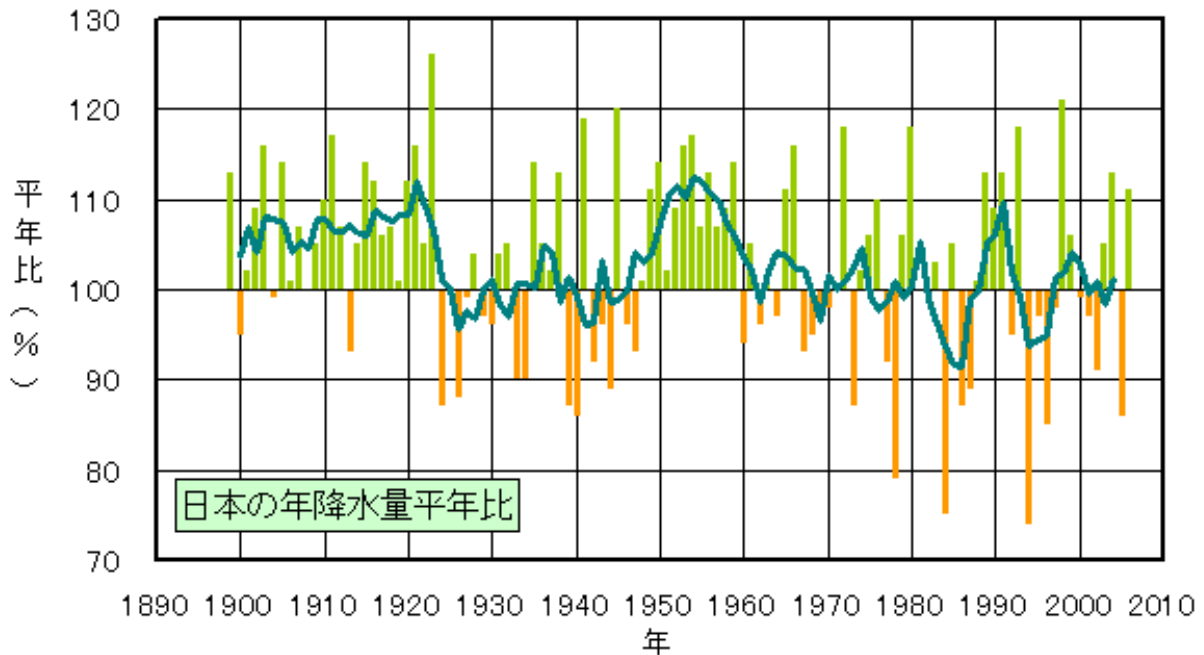


図 1.2-4 日本における年降水量の経年変化 (1898~2006 年)

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 顕著現象の長期変化傾向

この節では、月平均気温や月降水量でみた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、2.3 節と同じく、気温 17 地点、降水量 51 地点である（表 1.2-4 参照）。

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高温・異常低温の出現数

図 1.2-5 に、1901～2006 年の 106 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（1977～2006 年）で平均した出現数を表 1.2-5 に示す。

ここで、異常高温・異常低温とは「1901～2006 年の 106 年間で各月における月平均気温の高いほう・低いほうから 1～4 位の値」と定義されている。ある年の異常高温・異常低温の出現数とは、その年の異常高温・異常低温と判断された回数の総数を地点数の総数で割った値で定義され、1 地点あたりの出現数を意味する。なお、ある地点のある月に、月平均気温の高いほう・低いほうから 1～4 位の値が出現する割合は、それぞれ 106 年間に 4 回で 26.5 年に 1 回（0.038 回/年）となり、30 年に 1 回程度とされる「異常気象」の頻度に相当し（「異常気象」の定義は用語一覧を参照）、平均的な年間の発生数は 1 地点あたり 0.038 回×12 か月=約 0.45 回となる（図 1.2-5 の黒い横破線）。

1901～2006 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。

異常高温の出現数は 1940 年代から徐々に増え、1950 年代を境に異常高温が異常低温を上回るようになった。1980 年代以降は異常高温の出現数の増加が顕著となり、20 世紀初頭の 30 年間（1901～1930 年）の合計回数に比べて、最近の 30 年間（1977～2006 年）は、異常高温が 5 倍に増えた一方、異常低温は約 3 割までに減少した。

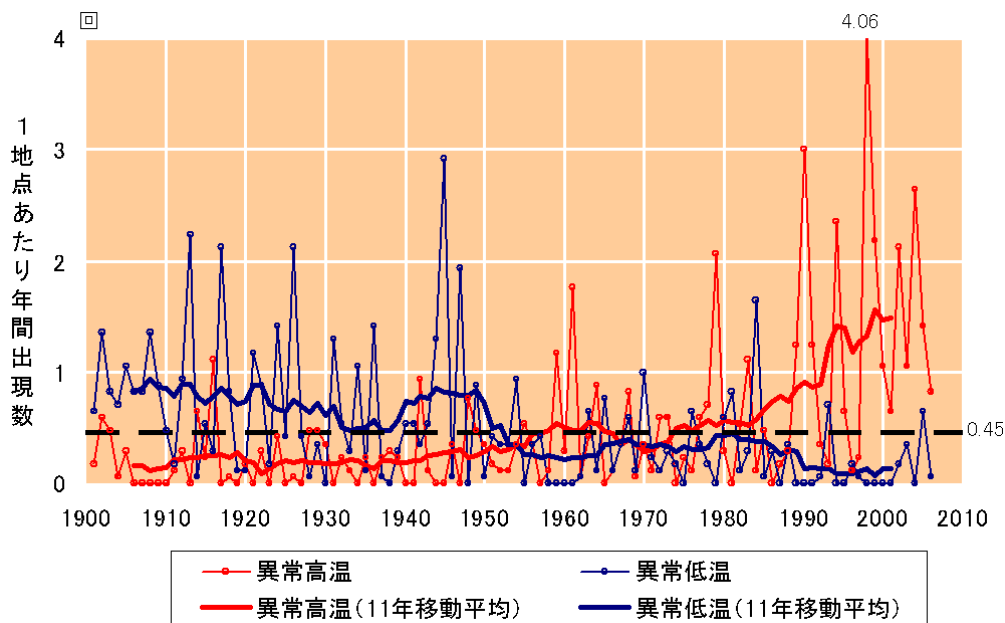


図 1.2-5 月平均気温の高いほうから 1～4 位（異常高温）と低いほうから 1～4 位（異常低温）の年間出現数の経年変化

1901～2006 年の月平均気温の各月における高いほう・低いほうから 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（0.45 回）を示す。

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

変化傾向は一次回帰式より求めた 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、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あわせて示す。

月平均気温でみた異常高温		
変化傾向	1901-1930 年の平均	0.21 回
+0.11 回/10 年 (*)	1977-2006 年の平均	1.06 回
月平均気温でみた異常低温		
変化傾向	1901-1930 年の平均	0.78 回
-0.08 回/10 年 (*)	1977-2006 年の平均	0.23 回

(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℃以上の年間日数（17 地点の平均）の 1931~2006 年の 76 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（1977~2006 年）で平均した日数を表 1.2-6 に示す。

なお、ある地点において、月の日数の 20%以上の日で日最高気温が欠測となっている月がある場合には、その地点のその年の年間日数のデータは、計算には用いないこととした。同様な扱いは、この項の (3) 日最低気温 0℃未満および 25℃以上の年間日数、2.4.2 項の (2) 日降水量 100mm 以上および 200mm 以上の年間日数においても行っている。

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、最初の 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 年移動平均でみると、近年は、少なくとも 1931 年以降で 30℃以上の日数が最も多い時期となっている。一方、35℃以上の日数は 1931~2006 年の 76 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 1.5 倍の出現数となっている。35℃以上の日数は 1970 年代までは大きな増減はなかったが、1980 年代後半以降増加しており、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

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 年間の平均日数もあわせて示す。

日最高気温 30℃以上の日数（真夏日）		
変化傾向	1931-1960 年の平均	38.4 日
+0.19 日/10 年	1977-2006 年の平均	38.8 日
日最高気温 35℃以上の日数		
変化傾向	1931-1960 年の平均	1.2 日
+0.14 日/10 年 (*)	1977-2006 年の平均	1.8 日

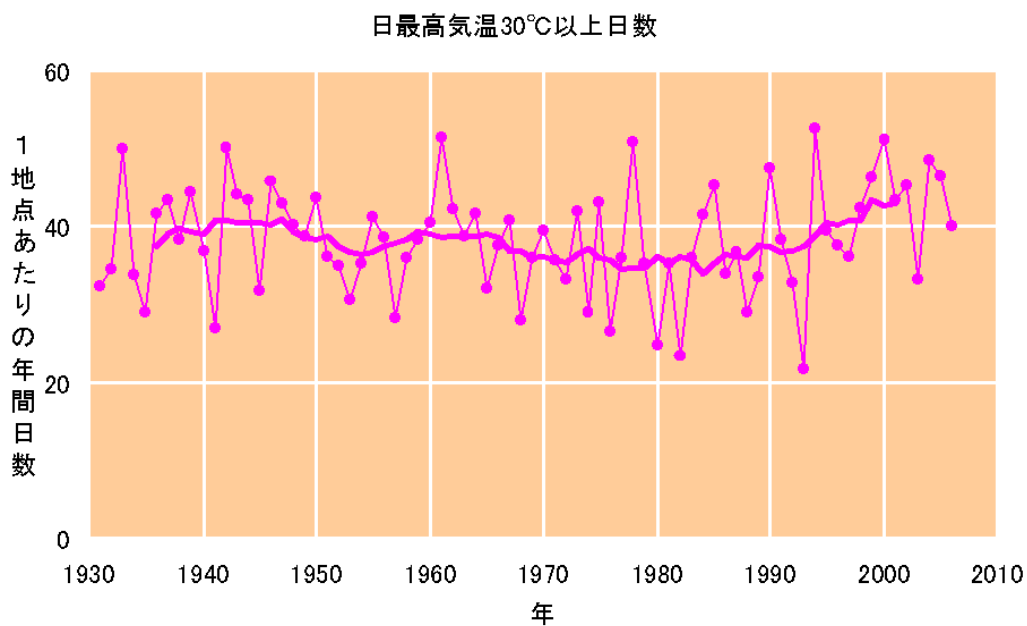


図 1.2-6 日最高気温 30℃以上の年間日数の経年変化

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。

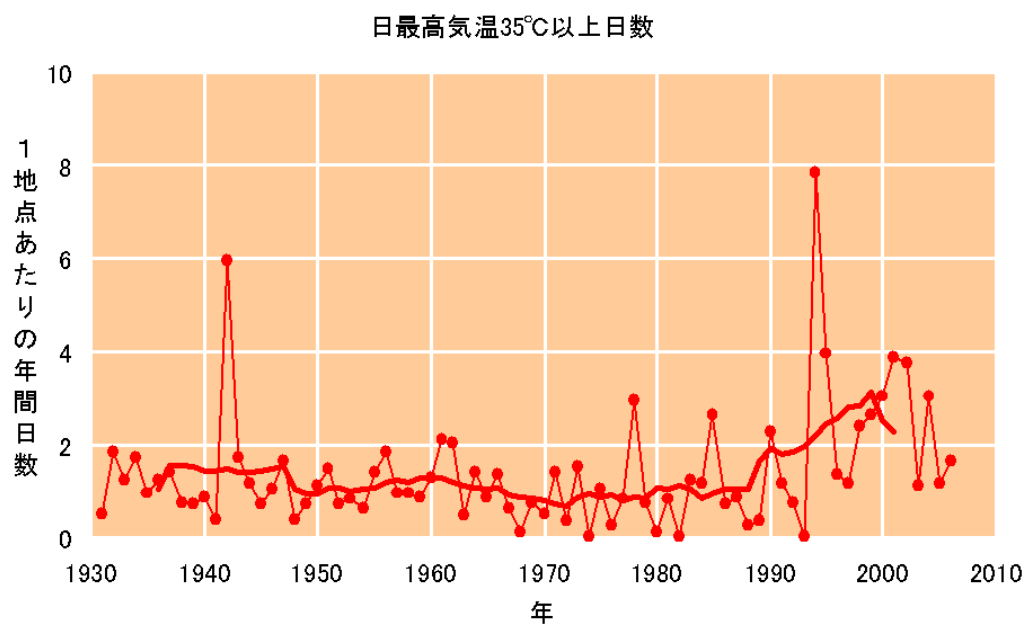


図 1.2-7 日最高気温 35℃以上の年間日数の経年変化

図 1.2-6 と同様。

(3) 日最低気温 0℃未満および 25℃以上の年間日数

日最低気温が 0℃未満 (冬日) と 25℃以上 (熱帯夜) の年間日数 (17 地点の平均) の 1931~2006 年の 76 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 (1977~2006 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 年間の 9 割程度の出現頻度となっている。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 1.5 倍の出現頻度となっている。

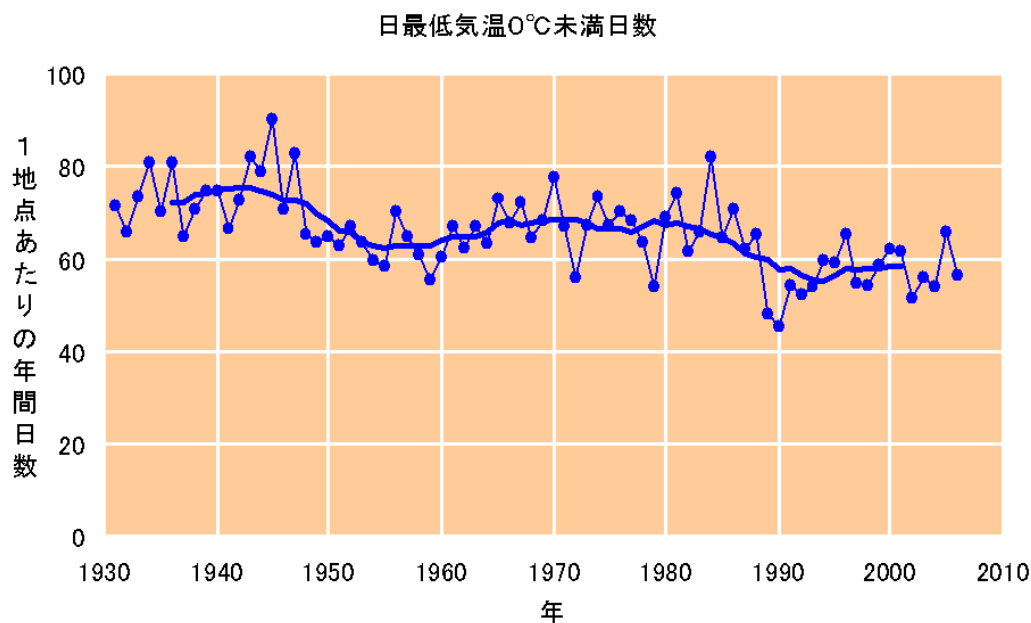


図 1.2-8 日最低気温 0℃未満の年間日数の経年変化

図 1.2-6 と同様。

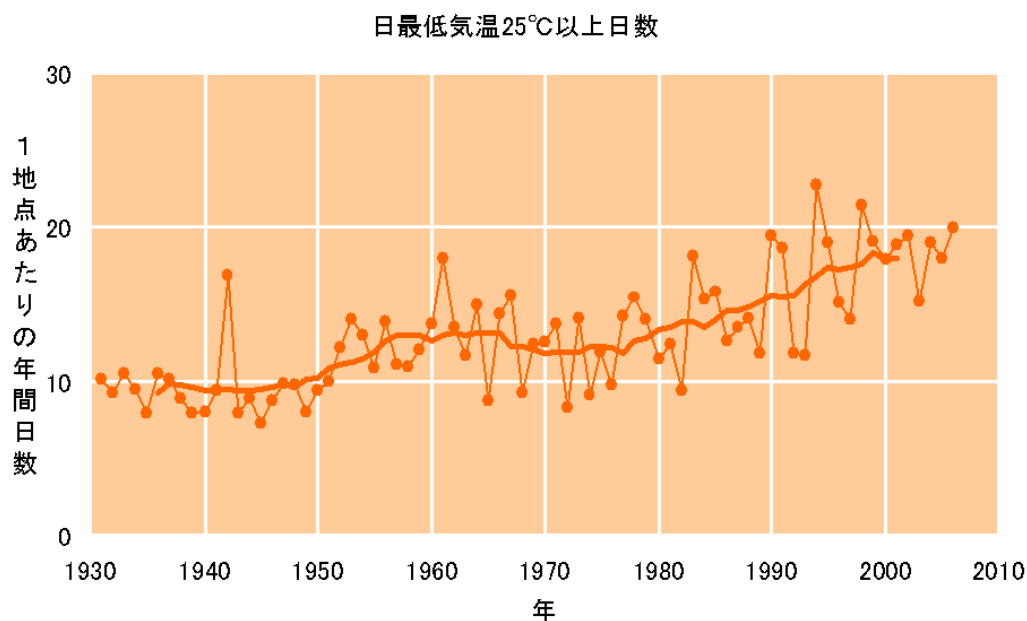


図 1.2-9 日最低気温 25℃以上の年間日数の経年変化

図 1.2-6 と同様。

表 1.2-7 日最低気温 0℃未満および 25℃以上の年間日数の長期変化傾向

表の見方は表 1.2-6 と同じ。

日最低気温 0℃未満の日数 (冬日)		
変化傾向	1931-1960 年の平均	69.6 日
-2.25 日/10 年 (*)	1977-2006 年の平均	60.4 日
日最低気温 25℃以上の日数 (熱帯夜)		
変化傾向	1931-1960 年の平均	10.3 日
+1.24 日/10 年 (*)	1977-2006 年の平均	16.0 日

2.4.2 月降水量からみた異常多雨・異常少雨の出現数

(1) 月降水量の異常値

図 1.2-10 に、1901～2006 年の 106 年間における異常多雨と異常少雨の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 (1977～2006 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、「1901～2006 年の 106 年間で各月における月降水量の多いほう・少ないほうから 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る。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といった傾向があるが、1980 年代以降は、異常多雨・異常少雨ともに増加する傾向がみられる。1980 年代以降は降水量の変動性が増加する (極端に多い月降水量と少ない月降水量がでやすい) 傾向がみられる。

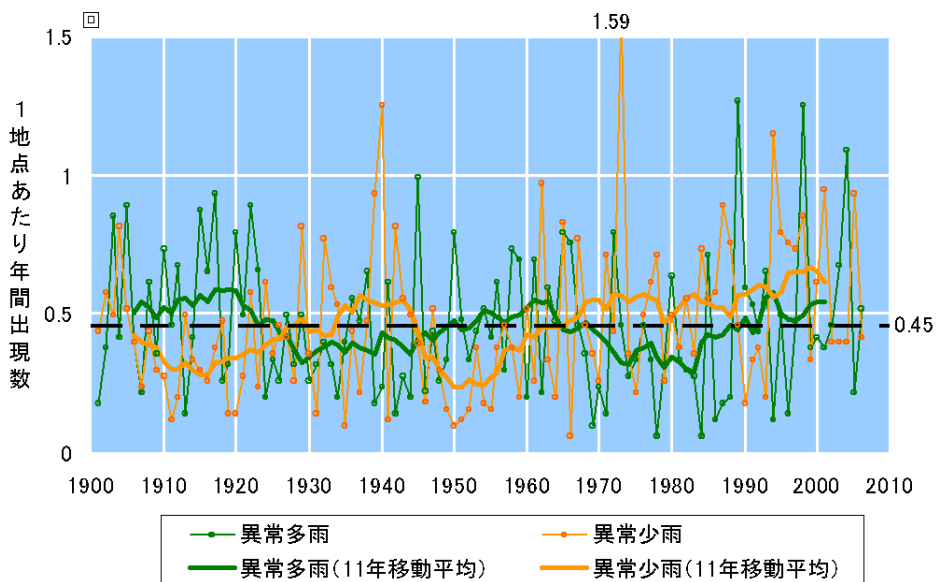


図 1.2-10 月降水量の多いほうから 1～4 位 (異常多雨) と少ないほうから 1～4 位 (異常少雨) の年間出現数の経年変化

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

表の見方は表 1.2-5 と同じ。

月降水量でみた異常多雨		
変化傾向	1901-1930 年の平均	0.50 回
-0.002 回/10 年	1977-2006 年の平均	0.45 回
月降水量でみた異常少雨		
変化傾向	1901-1930 年の平均	0.39 回
+0.02 回/10 年 (*)	1977-2006 年の平均	0.57 回

(2) 日降水量 100mm 以上および 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 1901~2006 年の 106 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（1977~2006 年）で平均した日数を表 1.2-9 に示す。日降水量 100mm 以上および 200mm 以上の日数は 106 年間で有意な増加傾向がある。最近 30 年間と 20 世紀初頭の 30 年間で比較すると 100mm 以上日数は約 1.2 倍、200mm 以上日数は約 1.4 倍の出現頻度となっている。

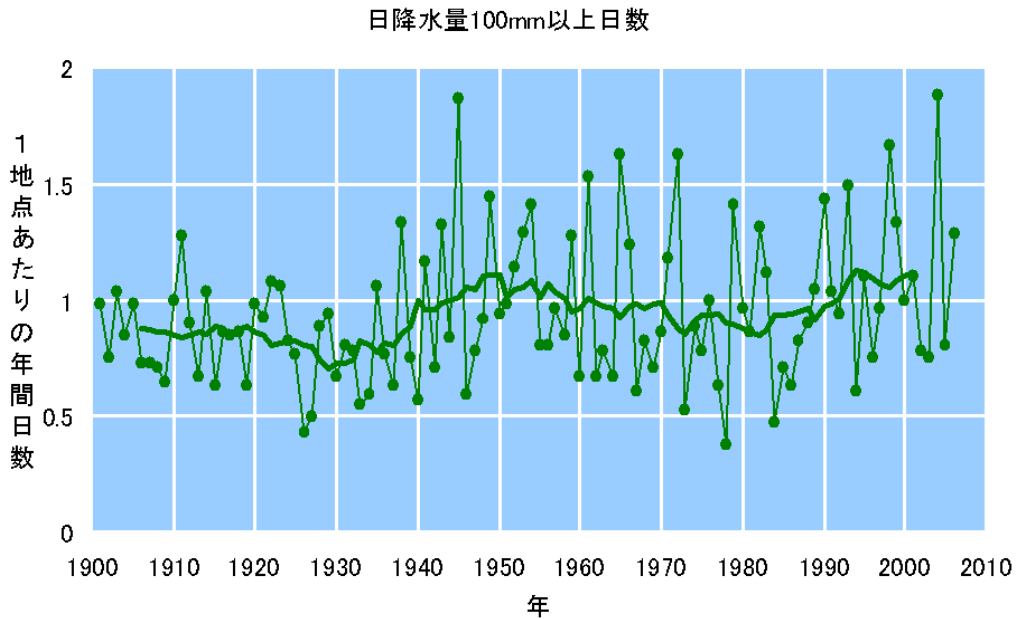


図 1.2-11 日降水量 100mm 以上の年間日数の経年変化

図 1.2-6 と同様。

日降水量200mm以上日数

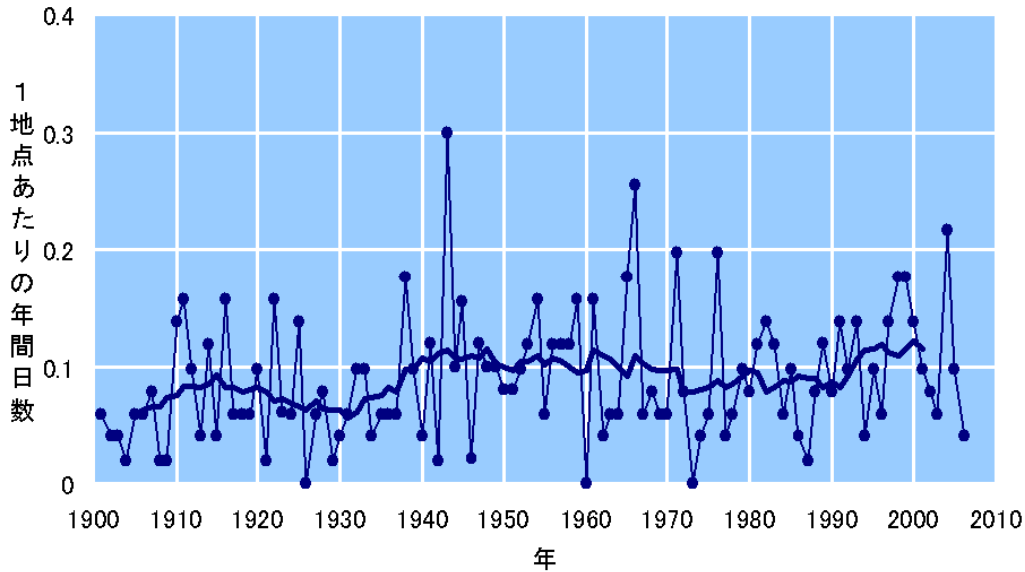


図 1.2-12 日降水量 200mm 以上の年間日数の経年変化

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

表の見方は表 1.2-6 と同じ。

日降水量 100mm 以上の日数		
変化傾向	1901-1930 年の平均	0.84 日
+0.02 日/10 年 (*)	1977-2006 年の平均	1.00 日
日降水量 200mm 以上の日数		
変化傾向	1901-1930 年の平均	0.07 日
+0.004 日/10 年 (*)	1977-2006 年の平均	0.10 日

【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 年代後半に観測をはじめており、約 1,300 もの地点における 30 年を超えるデータが利用可能となっている。気象台や測候所で約 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良好にとらえることができる。

ここでは、アメダスが観測した 1 時間 50mm 以上および 1 時間 80mm 以上の短時間強雨の発生回数、そして日降水量 200mm および 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 100 地点あたりの回数に換算し比較することにした。

短時間強雨の発生数の変化を図 1.2-13 に、大雨の発生数の変化を図 1.2-14 に示した。長期的なトレンドについては、日降水量 400 ミリ以上の発生回数を除いて統計的な有意性は認められない

ものの、連続する10年ないしは11年間の平均（グラフ中、橙色の線で表示した値）は、少しずつ増加してきており、いずれの場合でも発生数には増加傾向があることがわかる。

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年余りで増加傾向があることがわかるが、アメダスの観測期間は比較的短く、また年ごとの値の変化が大きいことから、長期変化を確実にとらえるためには今後のデータの蓄積が必要である。

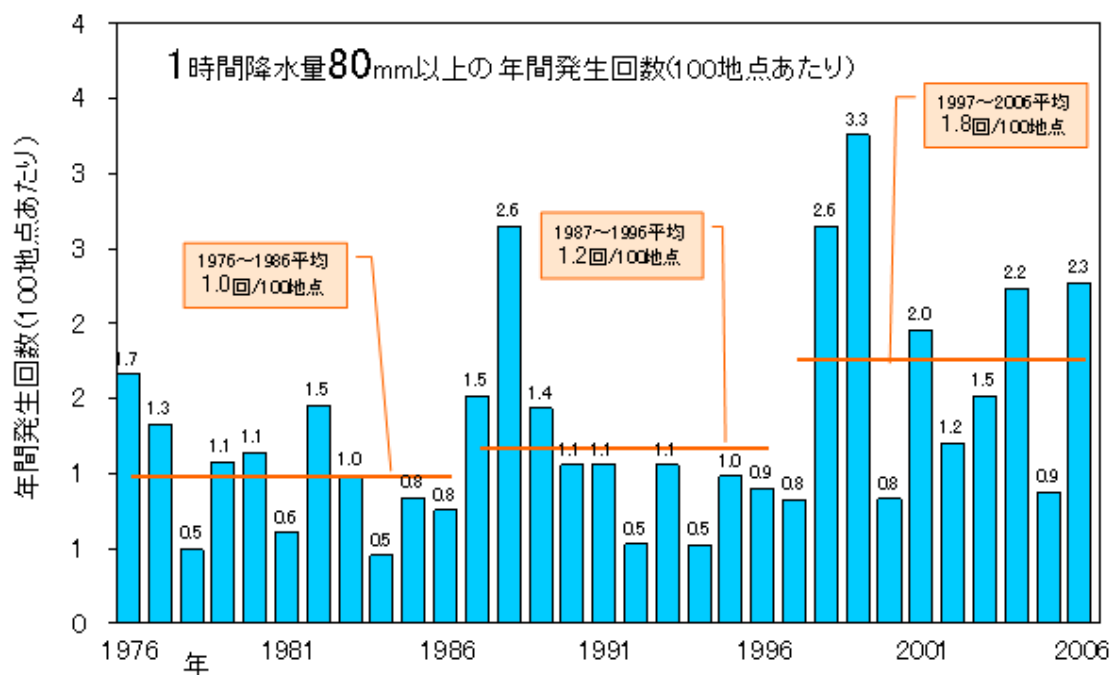
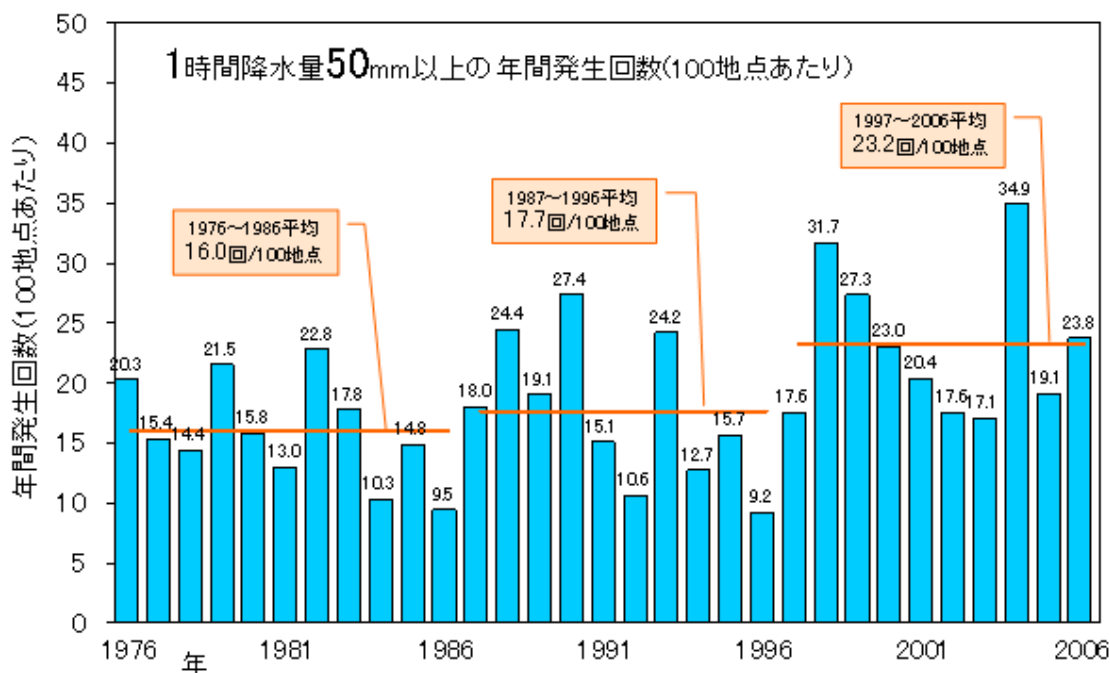


図 1.2-13 アメダス地点で1時間降水量が50mm、80mm以上となった年間の回数（100地点あたりの回数に換算）

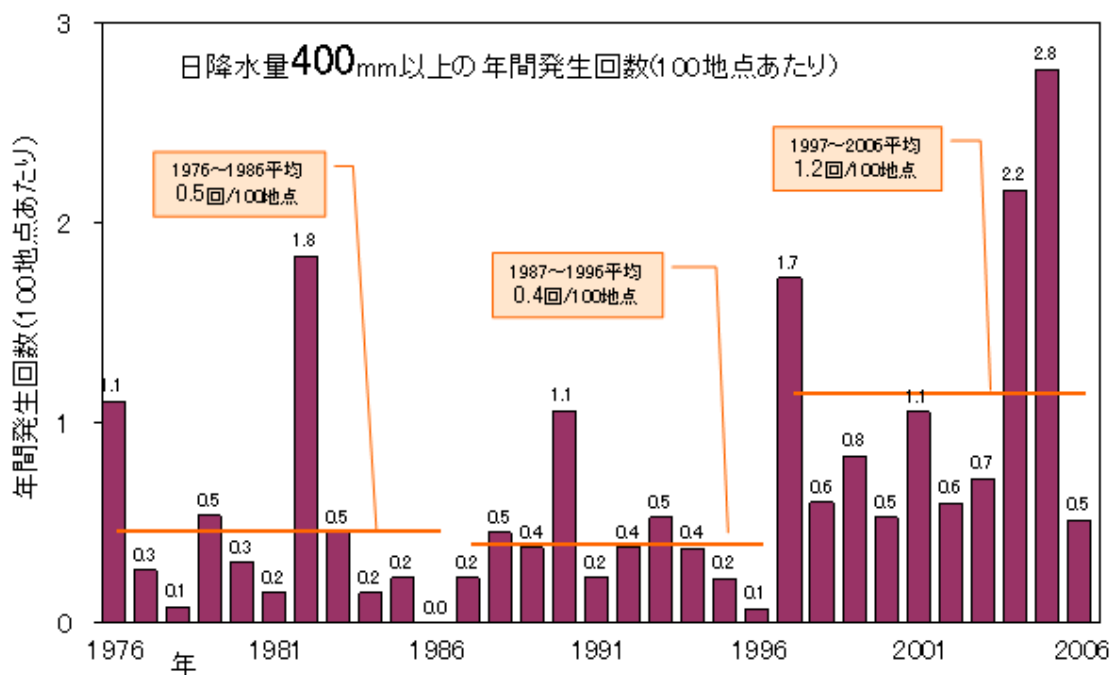
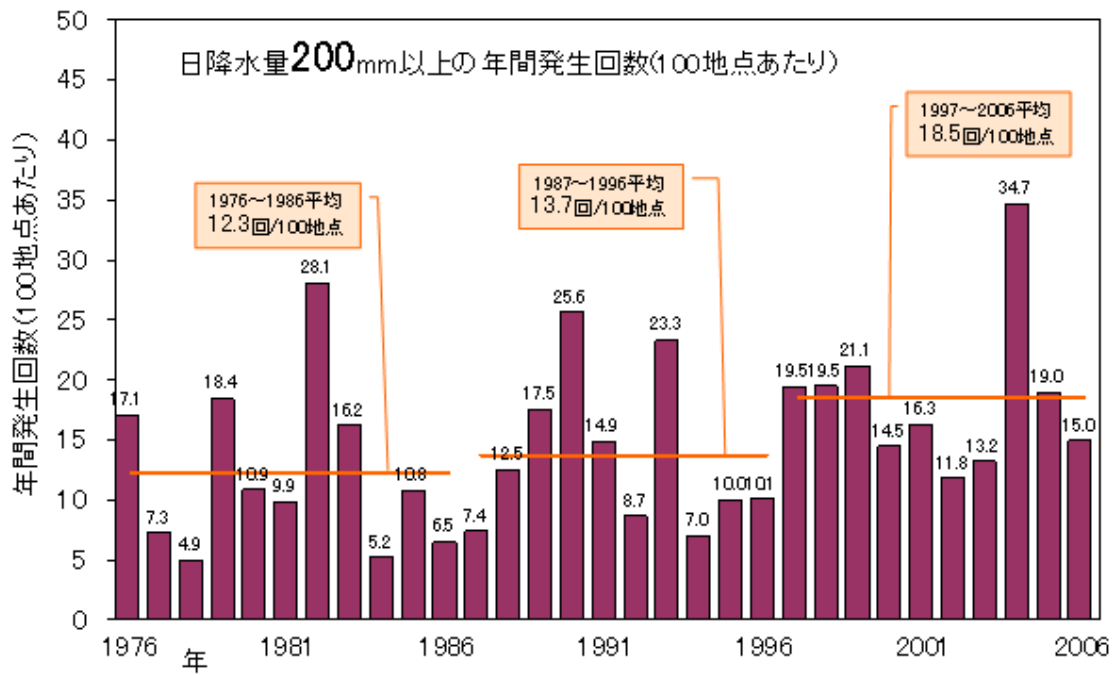


図 1.2-14 アメダス地点で日降水量が 200mm、400mm 以上となった年間の回数 (100 地点あたりの回数に換算)

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が 17.2m/s 以上のものを日本では「台風」と呼んでいる。また、台風を中心付近の最大風速（10 分間の平均風速）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。

2006 年の台風の発生数は 23 個（平年 26.7 個）、日本への接近数は 10 個（同 10.8 個）、日本への上陸数は 2 個（同 2.6 個）であった。なお、平年は 1971～2000 年の累年平均値である（「接近」および「上陸」の定義は用語一覧参照）。

2006 年の台風の特徴としては、発生数が平年より少なかった（平年並の範囲は 25～29 個）こと、中国大陸や南シナ海へ進んだ台風が多く、日本の本土（本州、北海道、九州、四国）に接近した台風が少なかったことがあげられる（図 1.2-15）。台風による被害の状況は、第 1.1 節、第 2.2 節を参照。

1951 年から 2006 年までの台風の発生数、日本（小笠原、南西諸島を含む）への接近数および上陸数を図 1.2-16 に示す。台風の発生数、接近数、上陸数は年々の変動が大きいため、5 年移動平均の変化で長期的な傾向をみると、過去 56 年間では、いずれについても明瞭な変化傾向は認められない。近年に限ると、発生数は平年より少ない傾向、接近数は平年より多い傾向がみられる。

また、気象衛星等による観測が進展し、台風を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その全発生数に対する割合を図 1.2-17 に示す。図 1.2-17 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、長期的にみて増減いずれかに偏る傾向はない。発生割合も、発生数の変動と似た傾向を示しており、おおむね 40%から 60%の間で変動している。1980 年代末に約 60%のピークに達したあと、1990 年代後半は比較的小さかったが、最近は約 60%とふたたび発生割合が大きくなっている。

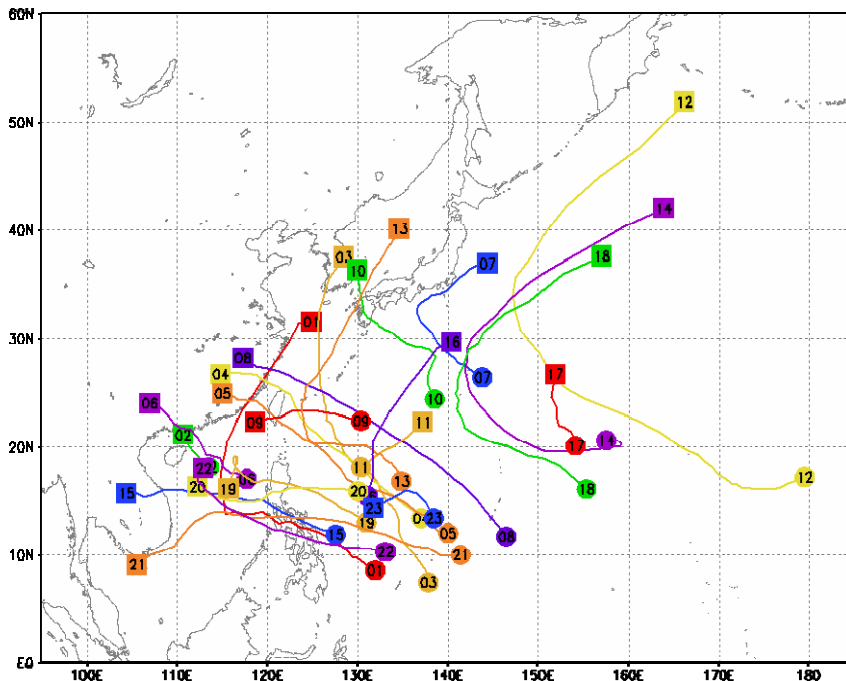


図 1.2-15 台風経路図（2006 年）

実線が台風期間の経路を表す。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熱帯低気圧から温帯低気圧が変わった位置である。

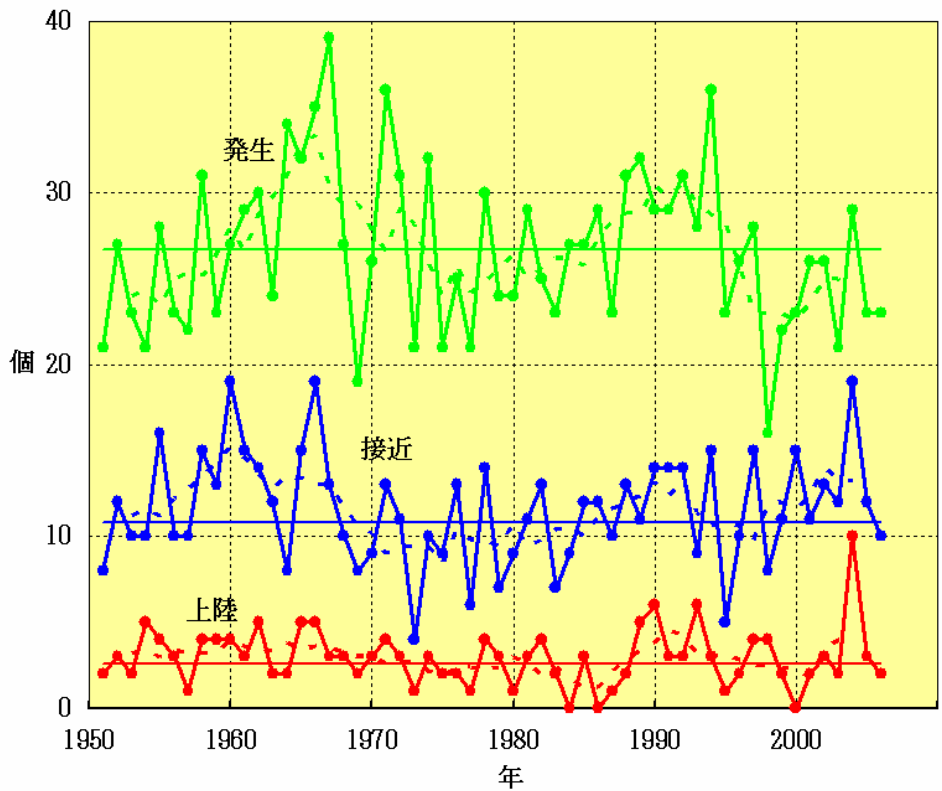


図 1.2-16 台風の発生数、日本への接近数および上陸数の経年変化

太い実線は、台風の発生数（緑）、日本（小笠原、南西諸島含む）への接近数（青）および上陸数（赤）の経年変化。破線は、それぞれの5年移動平均。細い実線はそれぞれの平年値（1971～2000年の平均値）。

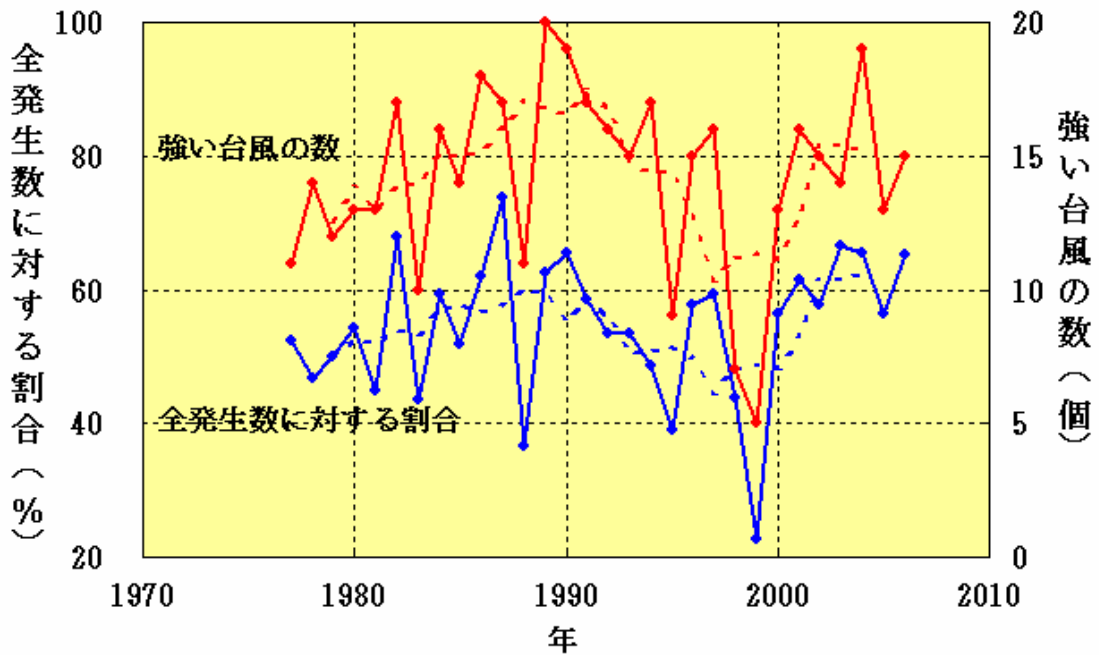


図 1.2-17 「強い」以上の勢力となった台風の数と全発生数に対する割合の経年変化

太い実線は、「強い」以上の勢力となった台風の数（赤）と全発生数に対する発生割合（青）の経年変化。破線は、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。2006年は、近畿地方と関東地方の夏季を対象として解析を実施した。

2.6.1 都市の気温変化

平成18年夏季（7、8月）の近畿地方は、7月の気温は平年並だったが、梅雨前線などの影響により、多くの地点で日照時間が平年より少なくなった。8月は高気圧に覆われて晴天日が多く、日照時間は平年を上回り、気温も多くの地点で平年より1°C以上高く、京都、大阪、奈良では、最高気温が平年を2°C上回った。一方、関東地方における月平均気温は、7月は梅雨前線等の影響で日照が平年より少なかったため、気温は平年並か平年より低い地点が多かった。8月は多くの地点で平均、最高、最低気温ともに平年より高かった。しかし、日照時間は平年並か平年よりも少ない地点が多く、顕著なヒートアイランド現象が起こりやすい気象条件の日は少なかった。

大阪と東京の8月の月平均気温の経年変化を図1.2-18に示す。50年当たり大阪では1.17°Cの統計的に有意な上昇傾向がみられ、東京の0.83°Cと比べ、大阪のほうが高くなっている。これは、都市化の影響の少ない地点の気温と比較して2倍から3倍にあたる上昇率である。

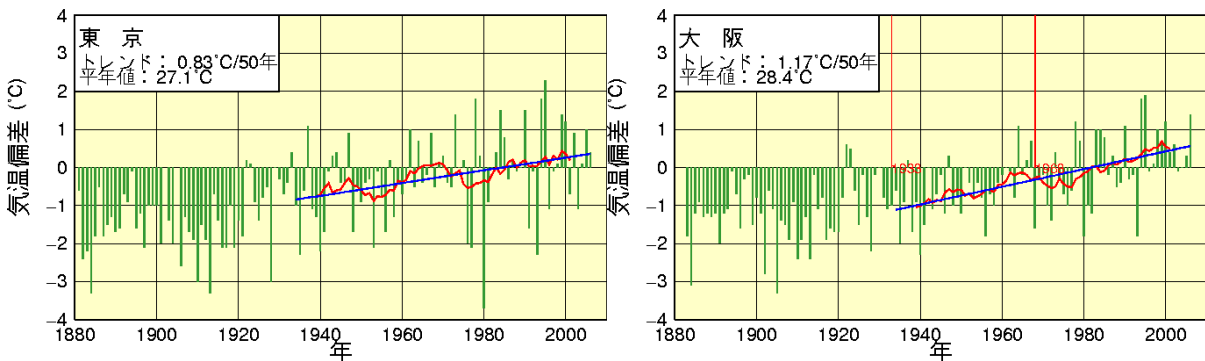


図 1.2-18 東京および大阪の8月の平均気温平年偏差の長期変化

統計期間は1934年～2006年。赤い曲線と青い直線はそれぞれ、11年移動平均と長期変化傾向を示している。赤の細線は庁舎移転ともない統計が切断した年を示している。なお大阪の1968年以前のデータは、庁舎移転の影響を除去するための補正を施している。

2.6.2 2006年夏季の事例

(1) 近畿地方

大阪平野で最高気温が35°C以上になる日の大部分は晴天かつ弱風（日照時間7時間以上、風速6m/s未満）の日である。2006年の7、8月に晴天かつ弱風となった20事例について解析を実施した。このうち、太平洋高気圧に覆われ、典型的な海風があらわれていた12事例を平均したところ、午前5時には、神戸市および大阪市の大阪湾沿岸から大阪府北東部にかけての地域の気温は25°C以上と周辺より高くなっていた（図1.2-19a）。午後3時には、高温の地域は、大阪府のほぼ全域、京都盆地、奈良盆地などに広がり、大阪市の東部から内陸にかけての地域と京都市では35°C以上の領域がみられた（図1.2-19b）。

近畿地方の12事例平均について、都市化（人工排熱の増加や土地利用の変化など）が気温に及ぼす影響について数値シミュレーションを行った。午前5時には、大阪市を中心とした沿岸部で、都市の影響がない場合に比べ1～2°C高くなっている（図1.2-20a）。午後3時には都市の影響により平野全体で気温が上昇している（図1.2-20b）。このように、都市による気温の上昇が、午後内陸部に広がるのは関東地方と共通しており、海風が卓越する日の広域ヒートアイランドの特徴であると考えられる。しかし、近畿地方は、関東地方に比べ、平野部での都市域が狭いため、都市の影

響で気温が上昇する範囲は狭くなっている。また、午後から夕方にかけて大阪湾から吹く涼しい海風で湾岸部はやや気温が下がるが、都市部においては人工排熱やアスファルトなどの人工的な土地被覆により加熱された空気が上昇して滞留したり、風下に熱が流れたりするため、大阪府北東部から京都・琵琶湖方面へかけて気温が高くなっている（図 1.2-20b、図 1.2-21）。

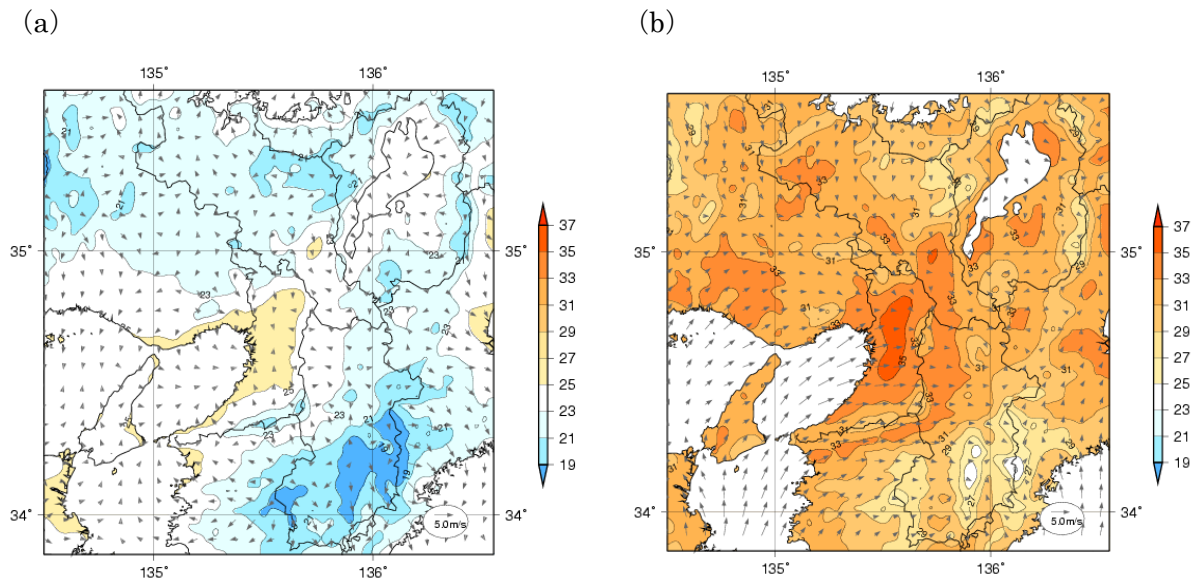


図 1.2-19 近畿地方の弱風日 12 事例平均の地上気温と風の分布

(a) は午前 5 時、(b) は午後 3 時。気温 (°C) は図横のカラーバー参照。風は矢印の方向で風向、長さで風速を表す。

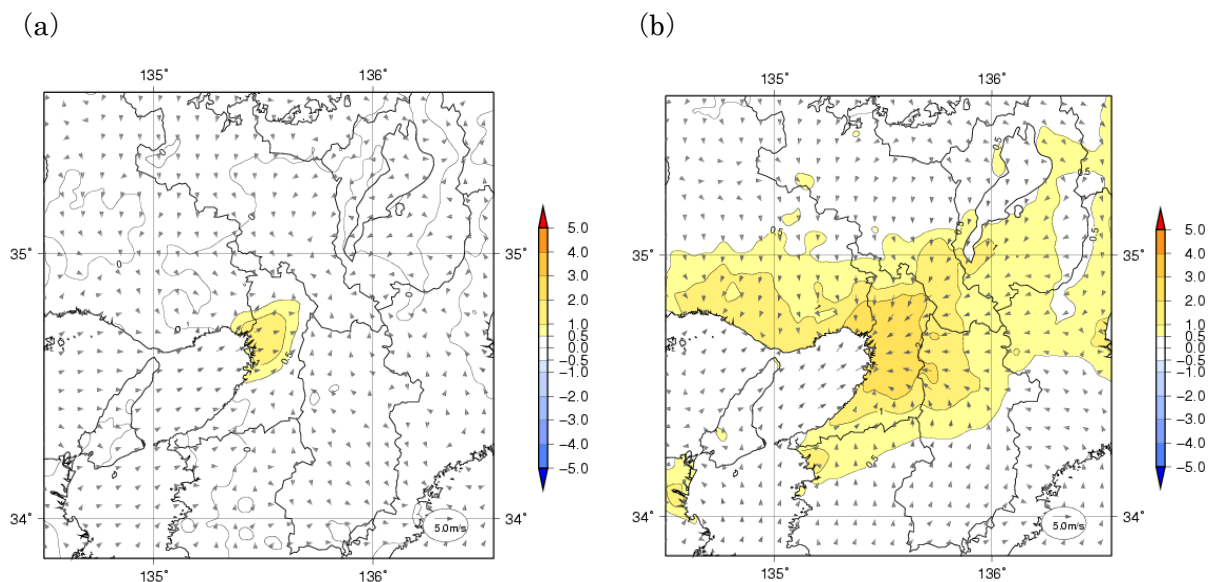


図 1.2-20 シミュレーションによる近畿地方の弱風日 12 事例平均の「都市がある場合」*1 と「都市がない場合」*2 の気温と風の差

(a) は午前 5 時、(b) は午後 3 時。正の値（暖色系の色）は「都市がある場合」のほうが気温が高いことを示す。

*1 「都市がある場合」には、人工排熱・都市の被覆状況を考慮して計算。

*2 「都市がない場合」には、人工排熱をゼロ、都市の被覆を草地として計算。

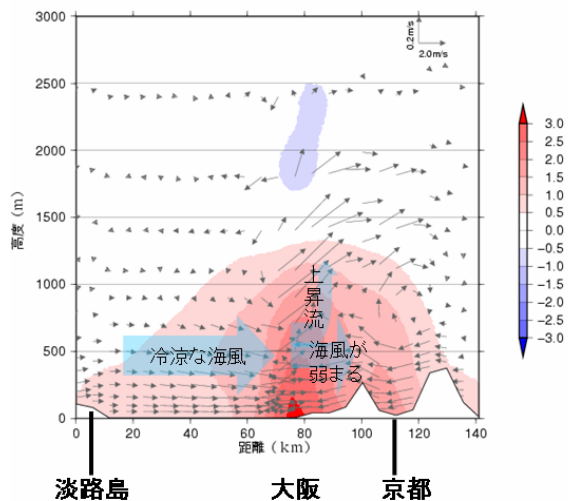


図 1.2-21 シミュレーションによる近畿地方の平成18年8月5日午後3時の「都市がある場合」*1と「都市がない場合」*2の気温と風の差の断面図
正の値（暖色系の色）は「都市がある場合」のほうが気温が高いことを示す。

(2) 関東地方

関東地方では「晴れて風が弱い（晴天弱風）」という気象条件に加え、「晴れて風が西寄り（晴天西風）」あるいは「晴れて風が北寄り（晴天北風）」という気象条件で、高い日最高気温が観測されている。2006年の7、8月の期間では、晴天日が10日（弱風日：9日、弱風、西風、北風以外の日：1日）であった。このうち、日中の最高気温が東京で35.4℃、熊谷で36.9℃、前橋で37.0℃を記録した8月5日(晴天弱風日)について解析した。午前5時には東京都心部を中心に25℃以上の領域がみられる（図1.2-22a）。午前中のうちに、関東平野はほとんどの領域で30℃を超え、午後3時には内陸部で35℃以上の領域が広がった（図1.2-22b）。このように都心部から内陸部までのびた広い範囲の高温域があらわれるのが、関東地方におけるヒートアイランドの特徴となっている。一方、東京湾沿岸では、東京湾から南よりの、太平洋側から東よりの海風が吹き込んだ影響で内陸部よりも気温が下がっている。しかし、夜になっても東京都と群馬県南部では29℃以上の地域があった。

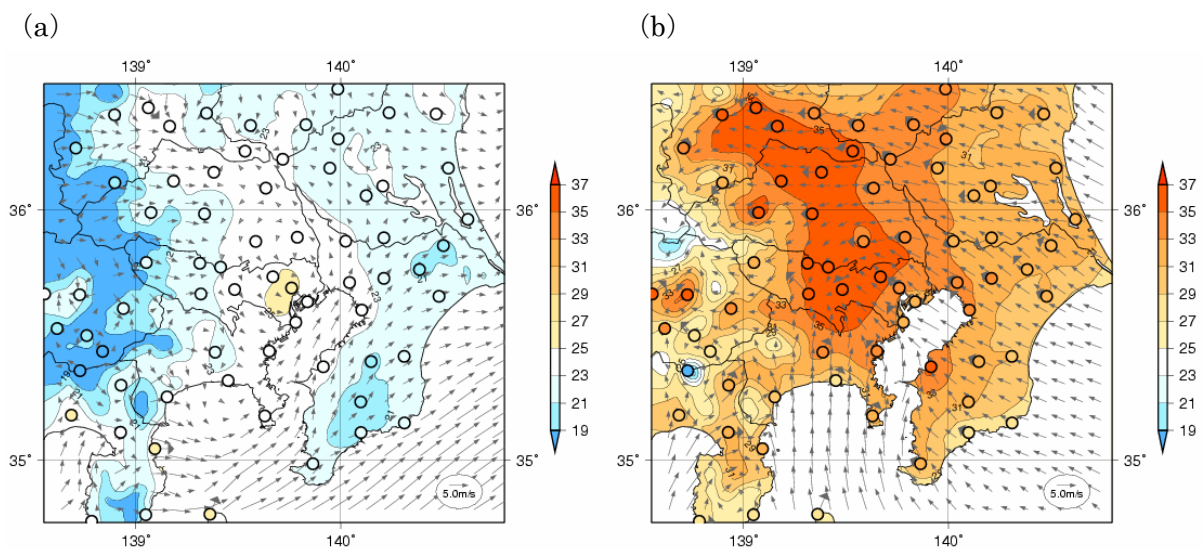


図 1.2-22 2006年8月5日における関東地方の地上気温と風の分布。

(a) は午前5時、(b) は午後3時。気温（℃）は図横のカラーバー参照。風は矢印の方向で風向、長さで風速を表す。図中の○はアメダス観測点を表す。

第2部 海洋

地球環境や気候を考える際、地球表面の7割を占める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。例えば、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し監視している。第2部では、これらの海洋の動向について、2006年の監視結果を示す。なお、詳細および2007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/>)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(1971~2000年の平均値からの差)は、長期的には100年あたり0.50℃の割合で上昇している(図2.1-1)。2006年の平年差は+0.21℃で、1900年以降では1998年について(2002年、2003年、2005年と並び)2番目に高い値となった。

図2.1-2は、2006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している。北太平洋中高緯度では、2月から5月にかけて西部で負偏差が持続したが、その後縮小し11月には解消した。中部の北緯30度付近では2月に+1℃を超える正偏差域があらわれた。正偏差域はその後強まりながら北に移動し、8月には北緯40度付近で+2℃を超える正偏差となった。東部では5月に北緯30度付近で、8月にはアラスカ南方で-1℃を超える負偏差がみられたが、11月には負偏差はほぼ解消した。

太平洋赤道域では、2月には日付変更線から西経120度にかけて-1℃を超える負偏差がみられたが、5月には消滅し全域でほぼ平年並となった。8月には日付変更線付近と南米沖で+1℃を超える正偏差があらわれ、11月には日付変更線以東の全域に正偏差域が拡大した。

南太平洋中高緯度では、2月には南緯30度帯を中心に東西にわたって正偏差域が広がっていたが、5月には東部の正偏差がほぼ解消した。東部の南緯45度付近では、2月から負偏差が持続し、11月には-1℃を超える負偏差域があらわれた。

インド洋中高緯度では、2月にはオーストラリア西方で-1℃を超える負偏差、マダガスカル島南東方で+1℃を超える正偏差がみられたが、5月には縮小した。インド洋赤道域では、8月以降西部で正偏差、東部で負偏差の状態が持続した。

北大西洋では、フロリダ半島東方沖を除くほぼ全域で年をたうじて正偏差が持続し、8月にはグリーンランド南方で+2℃を超える正偏差がみられた。

南大西洋では、2月にはアルゼンチン東方の南緯45度付近で-1℃を超える負偏差が広がったが、5月には正偏差に転じた。8月にはほぼ全域で平年並となったが、11月には南緯20度付近とアルゼンチン東方の南緯45度付近で-0.5℃以上の負偏差が広がった。

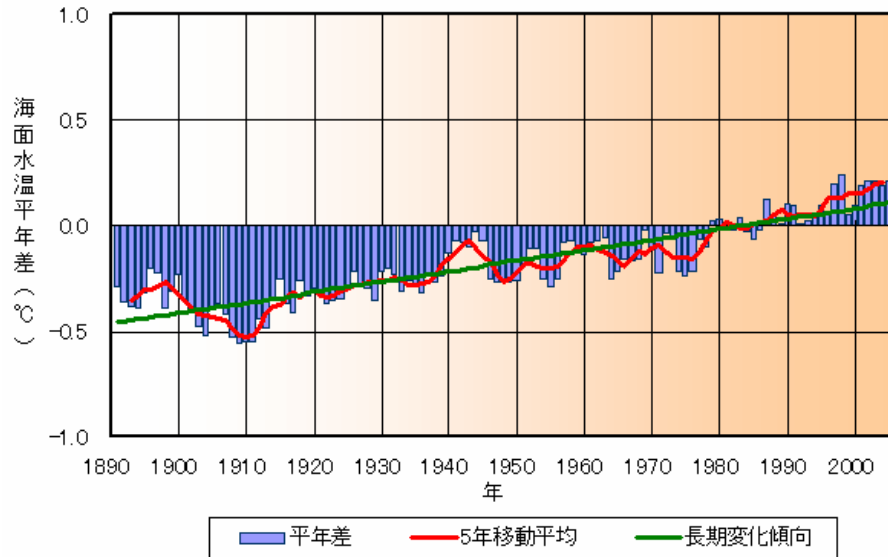
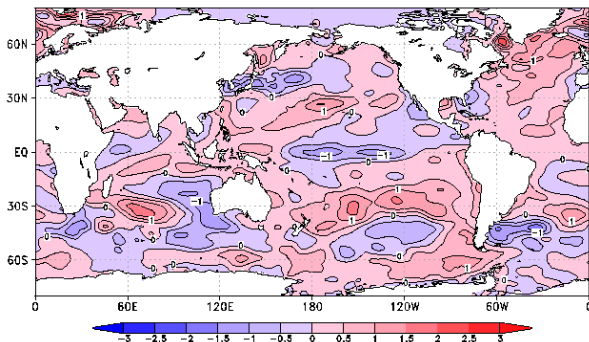


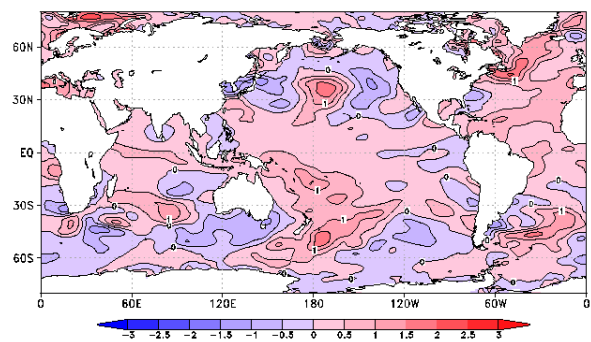
図 2.1-1 世界全体の年平均海面水温平年差の経年変化 (1891~2006 年)

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。

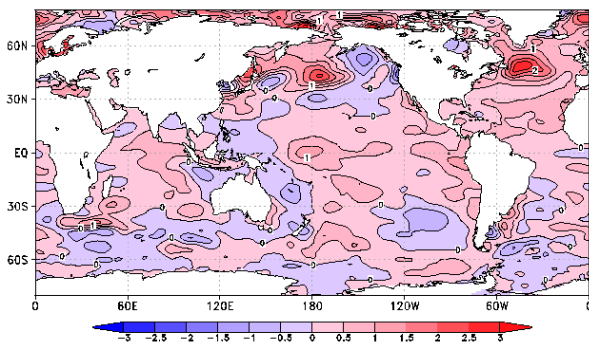
(a) 2006 年 2 月



(b) 2006 年 5 月



(c) 2006 年 8 月



(d) 2006 年 11 月

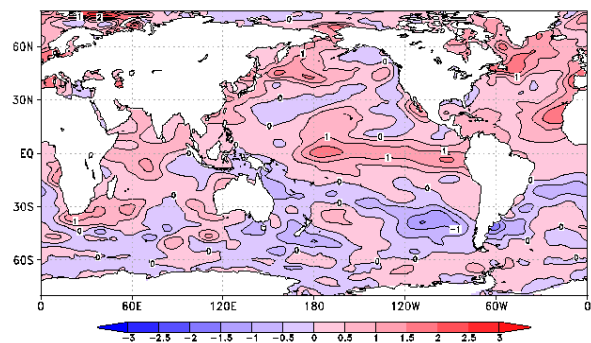


図 2.1-2 世界の海洋の月平均海面水温偏差 (°C)

2006 年 (a) 2 月、(b) 5 月、(c) 8 月、(d) 11 月。平年値は 1971 年~2000 年の平均値。

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、赤道上を吹く東風（貿易風）の強弱と密接に関係しており、一般に貿易風は、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。貿易風の強弱は、太平洋赤道域の東と西の気圧差の大小に対応している。この気圧差の変動は南方振動として知られている。エルニーニョ/ラニーニャ現象と南方振動は、海洋と大気が密接にかかわりあって起きる一つの現象をそれぞれ海洋側と大気側からみたものである。そこで、これらの現象を総合的にとらえる場合には、両者をあわせて「エルニーニョ・南方振動（El Niño and the Southern Oscillation）」またはその頭文字をとって「ENSO」と呼んでいる。エルニーニョ/ラニーニャ現象の監視には、中部から東部にかけての海面水温の変化に先駆けて海洋内部の水温構造に大きな変化が生ずることから、その変化の把握が重要である。

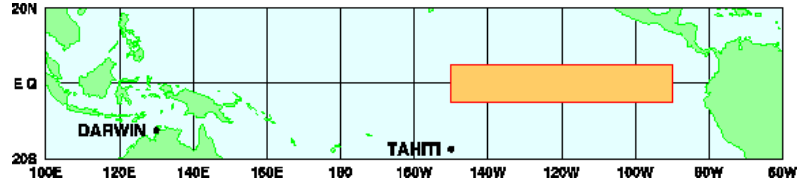
図 2.1-3 (a) は、エルニーニョ監視海域（北緯 5 度～南緯 5 度、西経 150 度～西経 90 度）で平均した月平均海面水温の基準値（その年の前年までの 30 年間の各月の平均値）との差の時間変化を示している。2005 年夏から低下し始めた基準値との差は、同年秋には -0.5°C を下回り、12 月には -1.2°C となった。基準値との差の 5 か月移動平均は、2005 年秋から 2006 年春にかけて 6 か月連続で -0.5°C を下回った状態が持続し、気象庁におけるラニーニャ現象の定義を満たした。その後、監視海域の海面水温の基準値との差は上昇し、2006 年夏には正に転じ、9 月には 5 か月移動平均が $+0.6^{\circ}\text{C}$ となった。海面水温が基準値より高い状態は年末まで持続した。

図 2.1-3 (b) は、南太平洋のタヒチとオーストラリアのダーウィン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。2005 年秋から 2006 年春にかけては、2 か月程度の短い周期で変動しつつも、5 か月移動平均でみると、ラニーニャ現象に対応する正の値が 2005 年秋から 2006 年春まで続いた。2006 年夏以降、東部の海面水温の上昇にともなって南方振動指数は負に転じ、年末まで持続した。

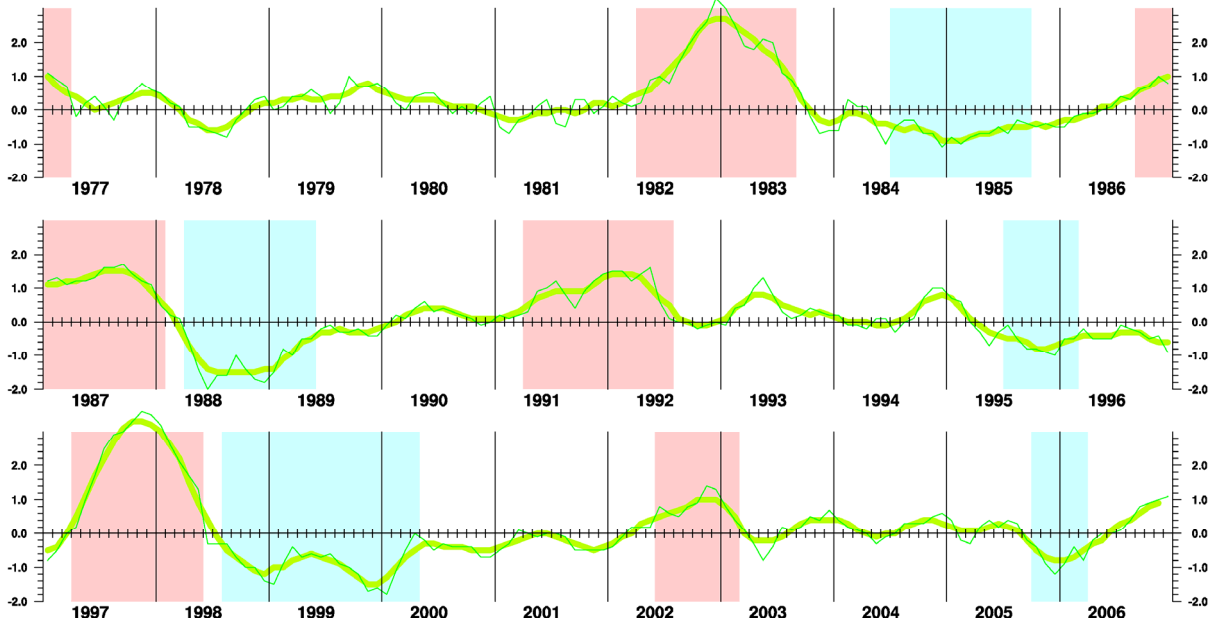
図 2.1-2 (a) ～ (d) に示されている 2006 年 2、5、8、11 月の月平均海面水温偏差によると、2 月に太平洋赤道域の日付変更線付近から西経 120 度にかけてみられた負偏差域は 5 月には解消し、全域ではほぼ平年並となった。8 月には日付変更線付近と南米ペルー沖で $+1^{\circ}\text{C}$ を超える正偏差があらわれ、11 月には日付変更線以東で $+1^{\circ}\text{C}$ を超える正偏差となった。

図 2.1-4 (a) ～ (d) は、太平洋の赤道に沿った海面から深さ 400m までの水温とその偏差を 2006 年 2、5、8、11 月について示している。通常の状態では、赤道上を吹く東風（貿易風）のために西部に暖かい海水が吹き寄せられるとともに、東部で海面下から冷たい海水が湧き上がり、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°C 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。2006 年 2 月の水温偏差は、水温躍層を中心に西部で正、東部で負となっており、水温躍層の東西勾配が通常より強かった。その後、西部の正偏差が繰り返し東進し、東部の負偏差は 5 月にはほぼ解消した。8 月にはペルー沖に正偏差が出現し、11 月には日付変更線以東のほぼ全域で正偏差となった。

エルニーニョ監視海域（橙色の枠内）
 および南方振動指数の算出に
 関連するタヒチ(TAHITI)とダー
 ウィン(DARWIN)の位置



(a)



(b)

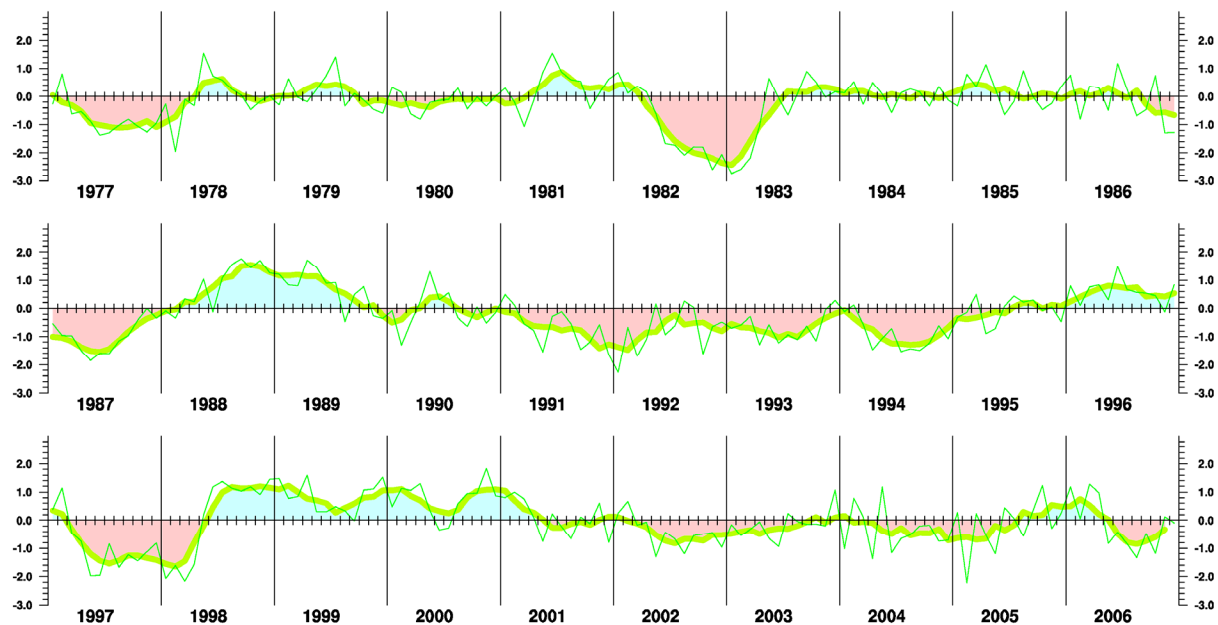
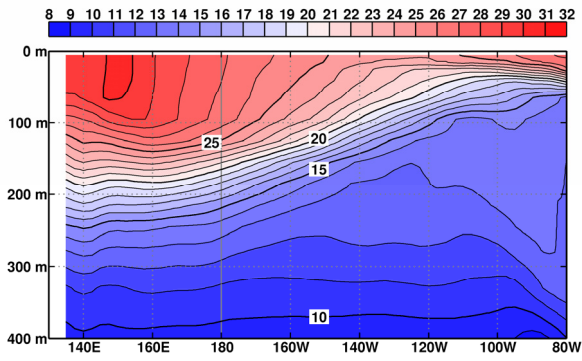


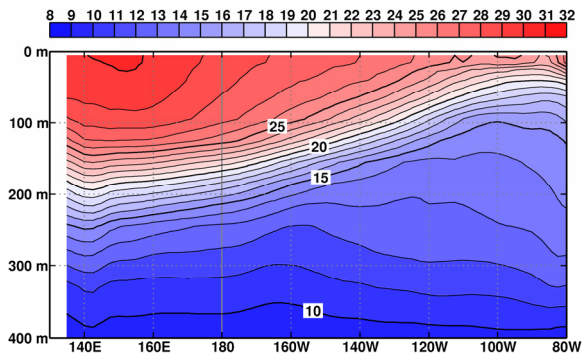
図 2.1-3 (a) エルニーニョ監視海域（北緯 5 度～南緯 5 度、西経 150 度～西経 90 度）の月平均海面水温の基準値（その年の前年までの 30 年平均値）との差（ $^{\circ}\text{C}$ ）および (b) 南方振動指数の経年変化（1977～2006 年）

細線は月の値、太線は 5 か月移動平均値を示す。(a) 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°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。(b) では、正の期間を青、負の期間を赤で示している。

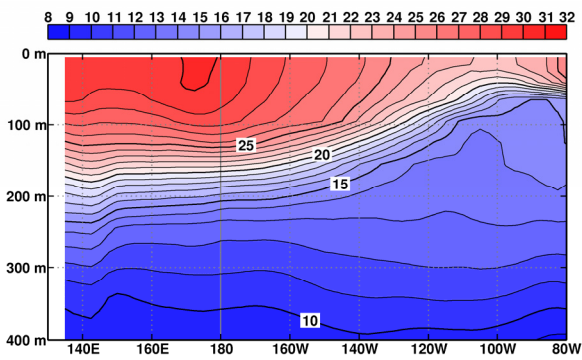
(a) 2006年2月



(b) 2006年5月



(c) 2006年8月



(d) 2006年11月

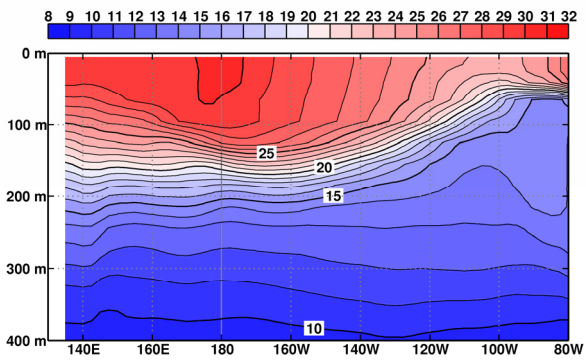


図 2.1-4 太平洋の赤道に沿った表層水温および偏差の深度-経度断面図 (°C)

2006年 (a) 2月、(b) 5月、(c) 8月、(d) 11月。平年値は1987~2005年の19年平均値。

1.3 北極・南極域の海氷

図 2.1-5 は、北極域、南極域および世界全体の月別海氷域面積の平年との差（1979～2000 年の 22 年平均値からの偏差）の推移を示したものである。それぞれの海氷域面積は、米国航空宇宙局から提供されている NIMBUS 7 号の多重チャンネルマイクロ波走査放射計 (SMMR) (1978 年 10 月～1987 年 9 月) および米国雪氷データセンターから提供されている DMSP 衛星のマイクロ波撮像装置 (SSM/I) (1987 年 10 月～2006 年 9 月) による観測データから求めた海氷密度データを用いて算出した。

北極域の海氷域面積は、1979 年以降 1987 年までは平年より大きい状態で推移していたが、1987 年から 1990 年にかけて減少傾向となり、1989 年から平年より小さくなった。その後 1993 年に平年値まで回復したが、1994 年以降はふたたび平年より小さくなり、2001 年以降、さらに大きく減少してきている。2006 年の最大海氷域面積は、統計開始 (1979 年) 以来最小を記録した。

南極域の海氷域面積は、3 年移動平均が算出されている 2004 年までは目立った長期的傾向はみられない。

世界全体 (北極域と南極域の合計) の推移をみると、北極域の海氷域面積が大きく減少しているため、1996 年以降は平年より小さい状態で推移している。2006 年 2 月には統計開始 (1979 年) 以降の全期間をつうじて最小となった。

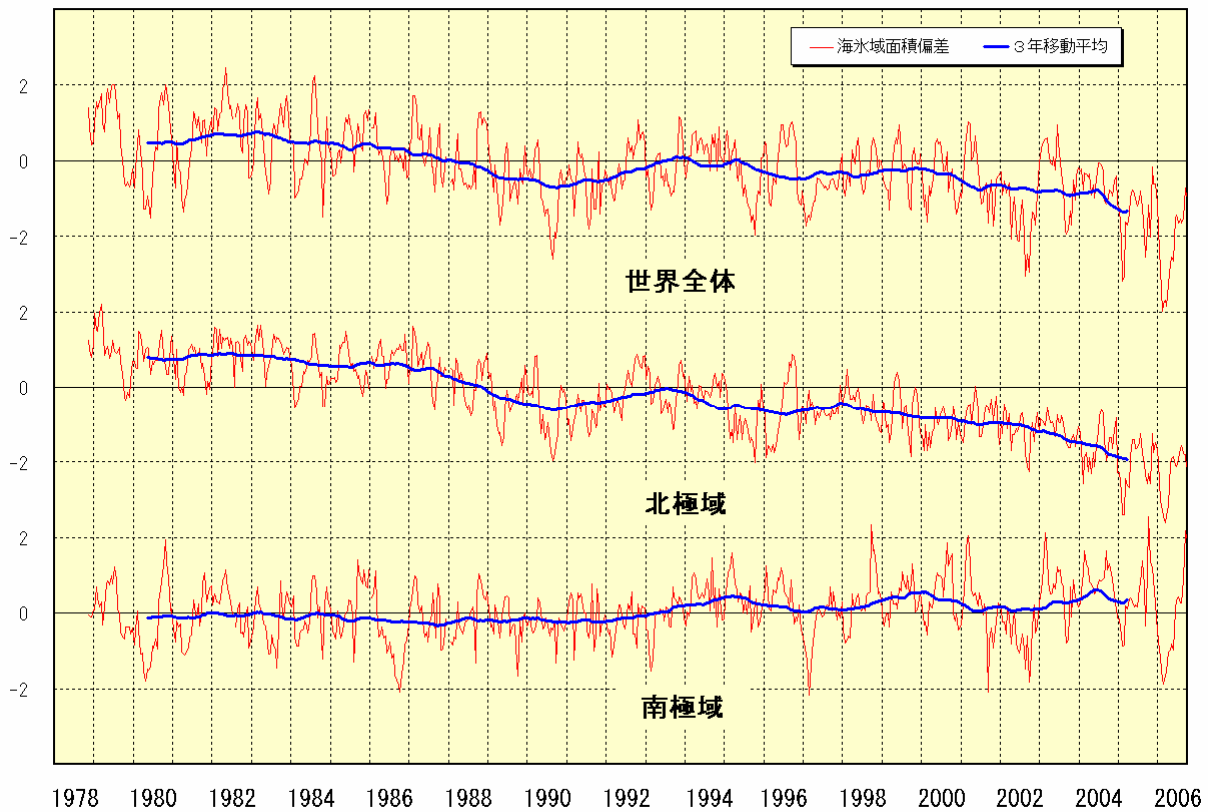


図 2.1-5 北極域、南極域および世界全体の海氷域面積の平年差の推移 (1978 年 10 月～2006 年 9 月)

細線は半月ごとの海氷面積の平年差を標準偏差で割った (規格化した) 値で、太線はその 3 年移動平均。平年値は 1979～2000 年の 22 年平均値。海氷は季節による変動が大きく、北極域、南極域および世界全体の比較をみやすくするために海氷面積の平年差を標準偏差で割っている。

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 2006 年 2 月、5 月、8 月、11 月の月平均海面水温の平年差を示す。2006 年の日本近海の海面水温は、1 月は全般的に平年より低く、日本海中・西部の一部と日本の東には平年より 2℃以上低い海域がみられた。2、3 月の海面水温は、日本の南から南西諸島周辺にかけて、平年並～平年より高くなった。4 月は全国的に強い寒気が南下することが多く、日本近海の海面水温はふたたび全般的に平年より低くなり、日本海中・西部と日本の東には平年より 2℃以上低い海域が広がった。その後、5 月から 7 月にかけて、全国的に気温が高いことが多く、海面水温は平年並に近づいた。8～10 月は気温が全国的に平年より高く、日本近海の海面水温は、日本の東を除き、おおむね平年より高くなったが、8～10 月は、台風が日本付近を通過したため、日本海および日本の南の一部では、たびたび平年より低くなった。11～12 月も気温は全国的に高く、日本近海の海面水温はおおむね平年より高い状態が続いた。

熱帯域（北緯 20 度以南）では、1～6 月の海面水温は、ほぼ全域で平年より高かった。7、8 月の海面水温は平年並～平年より低くなり、特にフィリピンの東では平年より低い海域が広がった。9 月の海面水温は、ほぼ全域で平年より高くなったが、9 月下旬から 10 月に、フィリピン近海で平年並～平年より低くなり、特にミンダナオ島周辺で平年より低くなった。11、12 月も、海面水温は、ほぼ全域で平年より高くなった。

オホーツク海からカムチャツカの東では、1～3 月の海面水温は、おおむね平年並であった。4 月以降、平年より低い海域が広がり始め、6、7 月はオホーツク海の広い範囲で平年より 1℃以上低くなった。一転して 9～12 月はオホーツク海からカムチャツカの東にかけての広い範囲で、平年より 1℃以上高くなった。

2.1.2 海流

(1) 黒潮

1 月上旬から 3 月下旬にかけて種子島近海から九州の東にかけて小蛇行が発生し、4 月に四国沖に東進した。5 月下旬から 7 月下旬にかけても同様に小蛇行が発生した。これらの小蛇行は、発達することなく四国沖で衰弱したが、11 月下旬に発生した小蛇行は、規模を拡大して北東進し、黒潮は 2007 年 1 月上旬には足摺岬で離岸した。こうした小蛇行や規模の小さな波動が東海沖を東進した影響を受けて、伊豆諸島付近では三宅島と八丈島の間で、たびたび流路が変動した。

(2) 親潮

親潮の沿岸よりの分枝の南限位置は、1 月中旬から 3 月中旬にかけて平年より南に位置していた。その後、いったんは平年並もしくは平年より北に位置したものの、6 月上旬から 11 月下旬にかけて、ふたたび平年より南に位置した。これにともない、親潮の広がりをあらわす冷水面積（深さ 100m で水温 5℃以下の面積）も平年より広くなる時期が多くみられた。特に 3 月の冷水面積は広く、2006 年の最大値となった。その規模は、1984 年、1986 年、1998 年につぐ規模となった。

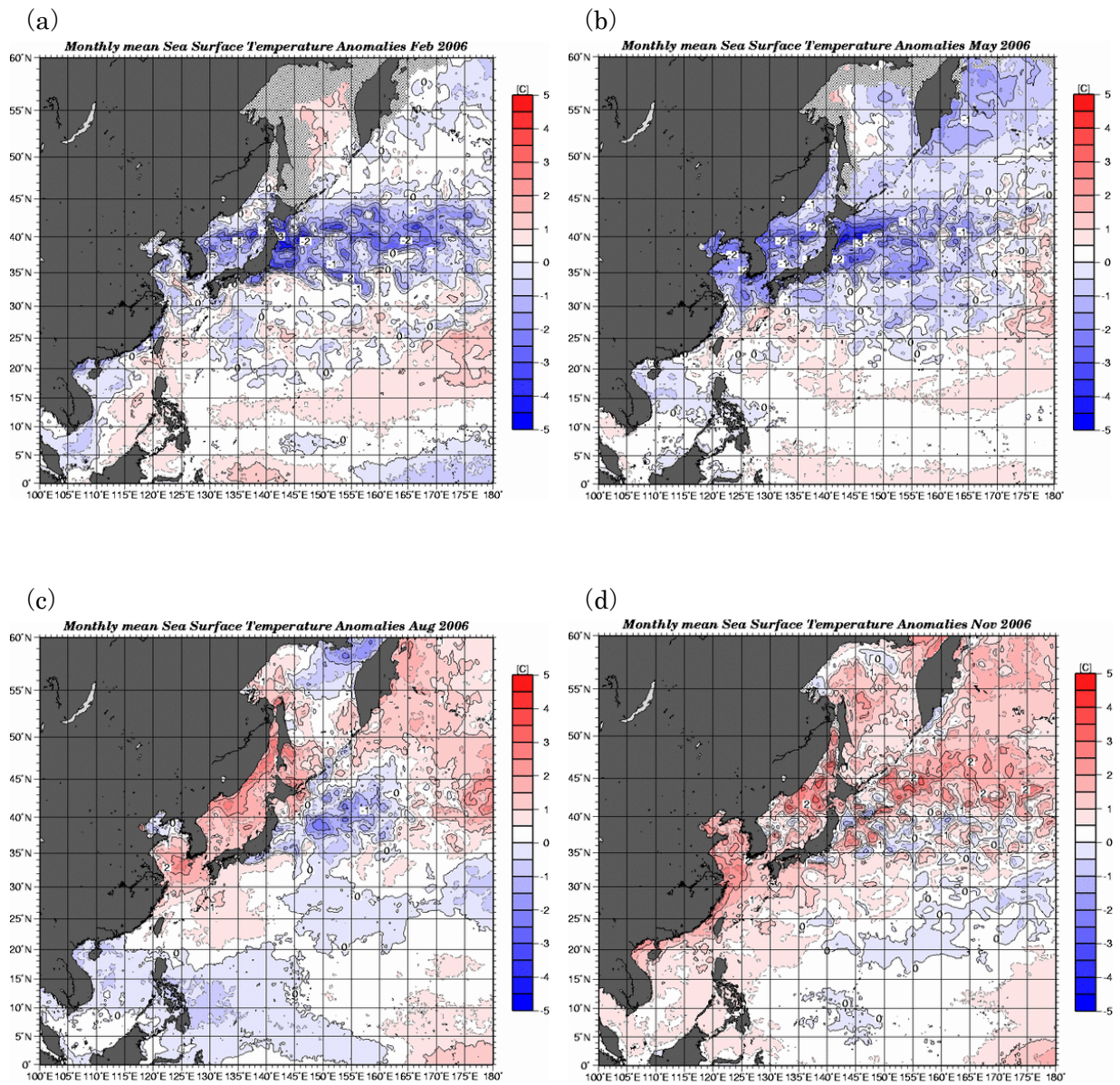


図 2. 2-1 月平均海面水温偏差図

(a) 2006 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。

2.2 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作業部会報告書の政策者向け要約では「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、[] (大括弧) 内に示した数値は、解析の誤差範囲をあらわしている。

しかし、図2.2-2に示すここ100年の日本沿岸の海面水位には、世界全体の海面水位と比較して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。一方で、1980年代半ば以降 (1985~2006年) については大きな上昇率 (年あたり3.3mm) となっている。上記のIPCC第4次評価報告書で大きな上昇を示したとされる1993年から2003年の上昇率は年あたり5.0mmであり、世界平均の平均上昇率である年あたり3.1 [2.4~3.8] mmより大きくなっている。

なお、図2.2-2で用いた値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。2006年の日本沿岸の海面水位は平年値 (1971~2000年平均) と比べて2.0cm高く、1960年以降で第8位に相当する。

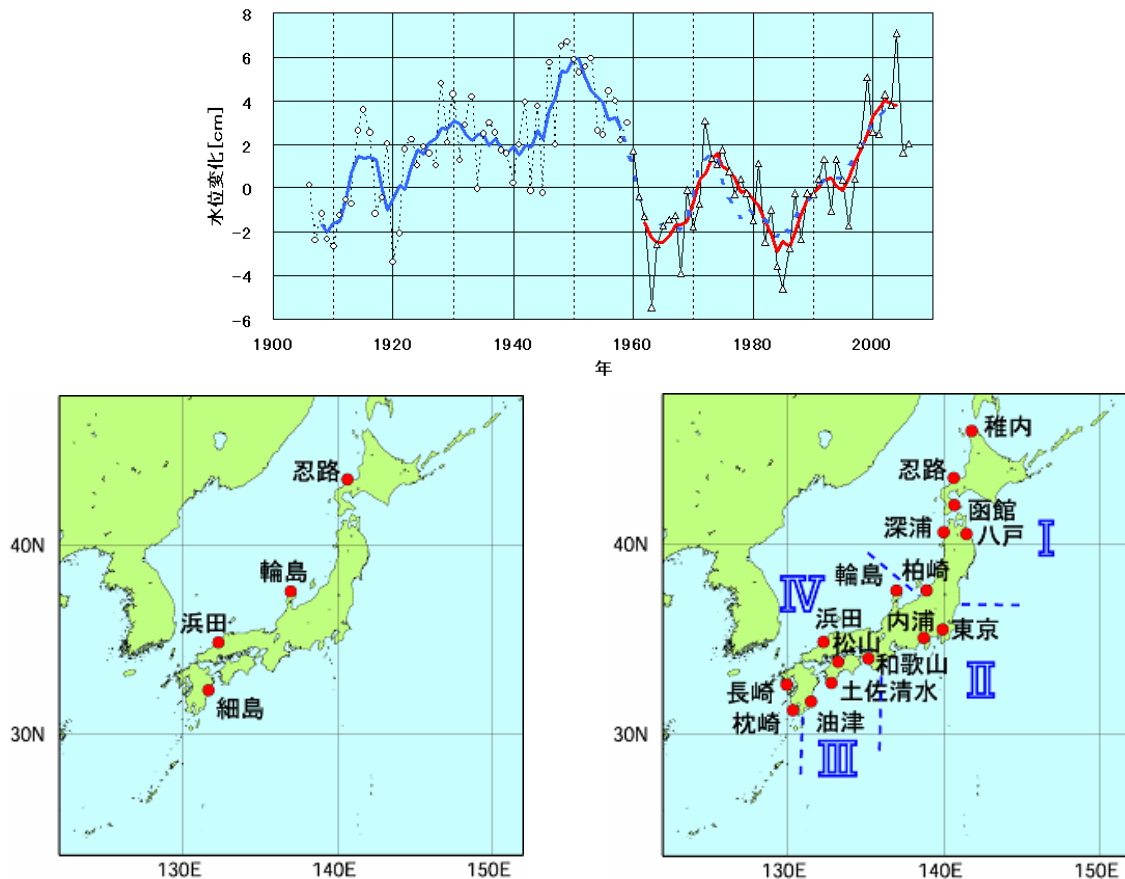


図 2.2-2 年平均海面水位の変動 (1906~2006年) と検潮所位置図

1906年から1959年までは4地点 (左図)、1960年以降は16地点 (右図) の検潮所を選択している。1906年から1959年までは、地点ごとに求めた年平均海面水位偏差を4地点で平均した値の推移を示している。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 (右図) し、海域ごとに求めた年平均海面水位偏差を等加重として平均し、その推移を示している。水位変化0cmは、1971年から2000年までの期間で求めた平年値である。青線は4地点年平均偏差の5年移動平均値、赤線は4海域平均偏差の5年移動平均値を示している。

忍路、柏崎、輪島、細島は国土地理院、東京 (芝浦) は海上保安庁の所管する検潮所である。

図 2.2-3 に、図 2.2-2（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偏差を示す。

関東・東海地方の沿岸の海面水位は、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で、2004 年から 2006 年にかけて大きく変動した。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、海水の熱膨張と地球の自転の影響によって海水が陸側へ輸送された。このため 2004 年は平年より 8.6cm 高くなった。一方で大蛇行発生時には蛇行の北側の海域で冷水渦が生成されたが、2005 年に黒潮の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 年以降海面水位は低下し、2006 年は平年値より 3cm 低くなった。

北海道・東北地方でも 2005 年と比較すると 2006 年の海面水位は 1.9cm 低くなっている。一方で北海道・東北地方の 6 地点の海面気圧は 2006 年のほうが 2005 年より 1.1～1.9hPa（平均 1.5hPa）高くなっている。気圧の吸い上げ効果により 1hPa の気圧上昇は約 1cm の海面水位低下を引き起こすので、2005 年から 2006 年にかけての北海道・東北地方の海面水位低下の約 8 割は海面気圧の上昇で説明することができる。

近畿太平洋側～九州太平洋側と九州東シナ海側の沿岸では 2006 年 7 月頃から表層水温の平年差が負から正に転じ、以降表層水温が平年より高い状態が継続している。一般に海面から 100m 深までの海水温が 1℃上昇すると海水の熱膨張によって約 2cm の水位上昇が生ずるとされており、2005 年から 2006 年にかけて近畿太平洋側～九州太平洋側と北陸地方～九州東シナ海側で海面水位が上昇したのは表層水温の上昇が一因と考えられる。

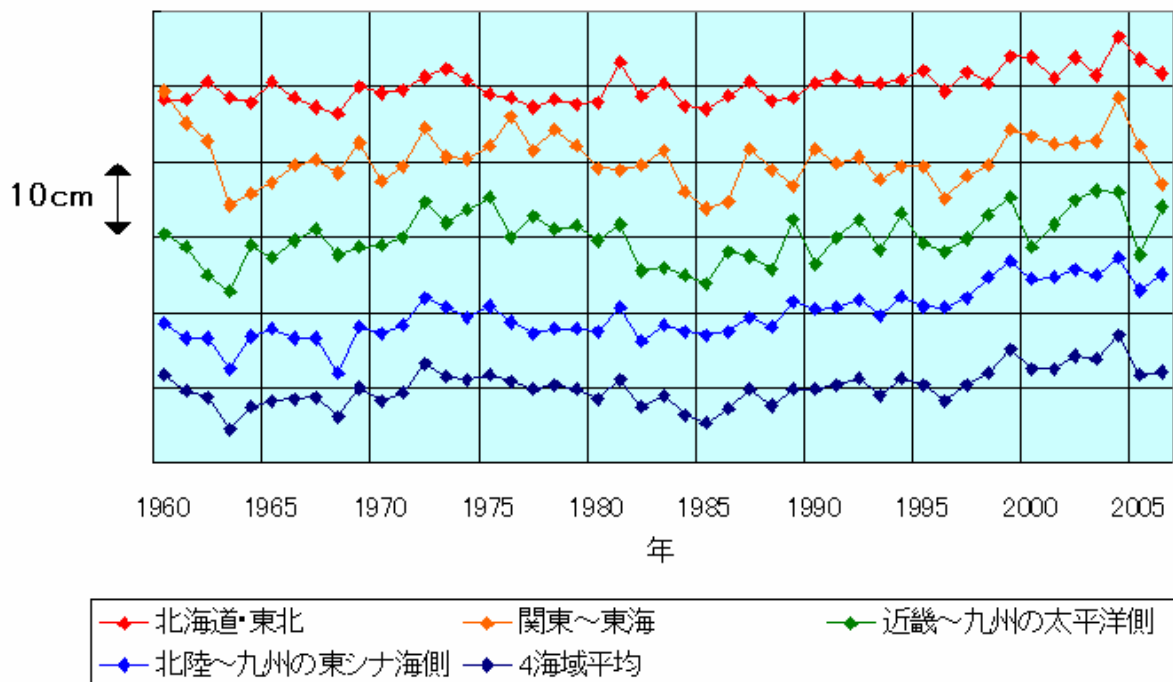


図 2.2-3 海域別の年平均海面水位の変動（1960～2006 年）

図 2.2-2 で示した海域別に、4 海域平均の 1971 年から 2000 年の平均値を基準とした年平均海面水位偏差の時系列を示す。

表示をみやすくするため、海域ごとに 10cm ずつ基準をずらしている。

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、塩分も加味し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 2.2-4 は日本海（A）、東シナ海（B）、本州南方（C）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偏差の時系列（右図）である。各海洋観測点の力学的海面高度の長期変化は近傍の富山、那覇、父島検潮所における海面水位の長期変化と類似しており、海洋表層の密度変化にともなう近海海面水位変化がこれらの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。

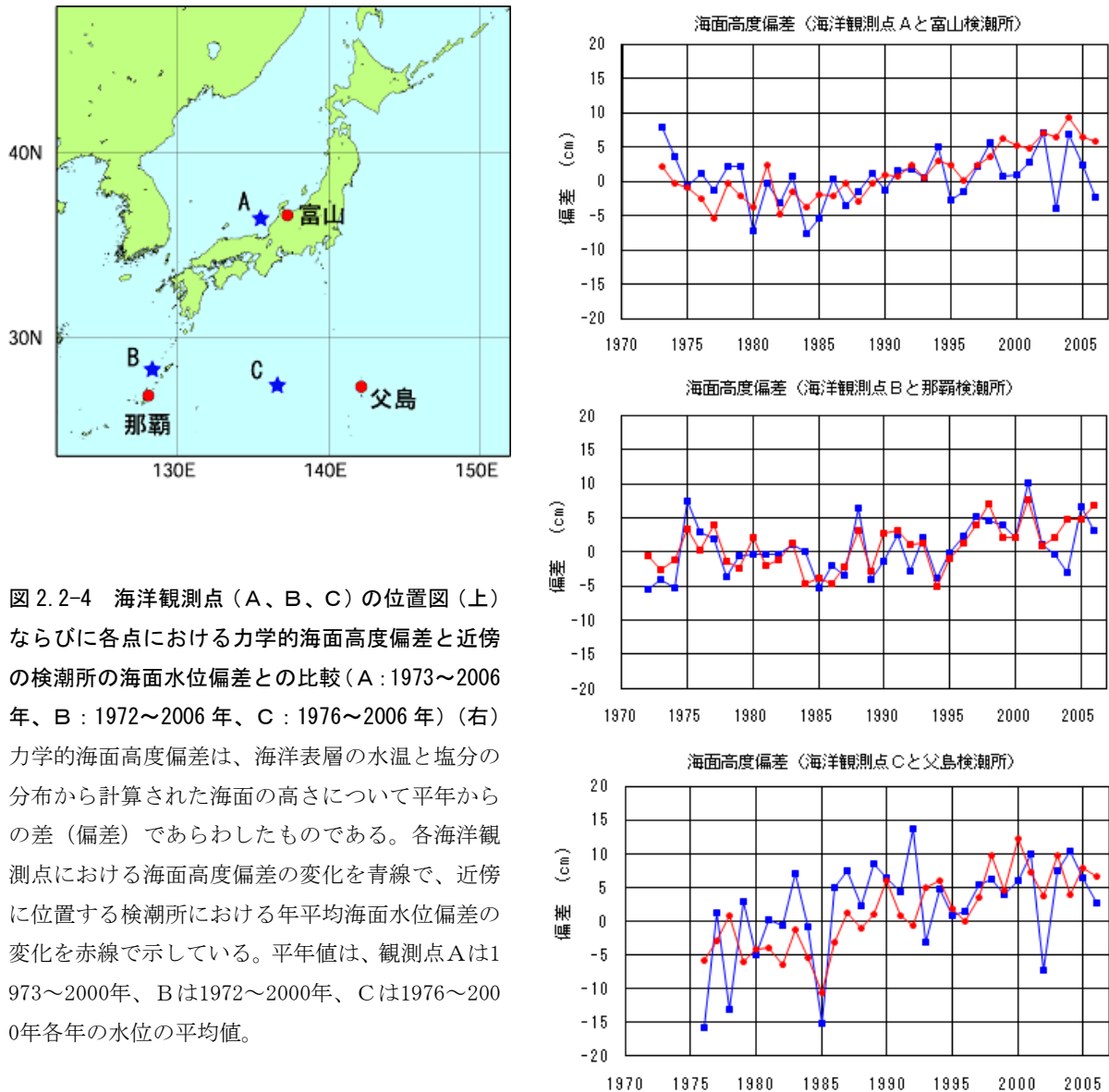


図 2.2-4 海洋観測点（A、B、C）の位置図（上）ならびに各点における力学的海面高度偏差と近傍の検潮所の海面水位偏差との比較（A：1973～2006年、B：1972～2006年、C：1976～2006年）（右）力学的海面高度偏差は、海洋表層の水温と塩分の分布から計算された海面の高さについて平年からの差（偏差）であらわしたものである。各海洋観測点における海面高度偏差の変化を青線で、近傍に位置する検潮所における年平均海面水位偏差の変化を赤線で示している。平年値は、観測点Aは1973～2000年、Bは1972～2000年、Cは1976～2000年各年の水位の平均値。

2.3 オホーツク海の海氷

2005年12月～2006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、期間を通して平年より小さい状態で経過した（図 2.2-5）。

2005年12月～2006年5月において海氷域面積が最大となったのは3月10日で、その値は最大海氷域面積の平年値（122.83万 km²）より小さい90.30万 km²であった。これは1984年2月25日の85.81万 km²について、統計開始（1971年）以来2番目の小ささであった。また、その年の海氷の勢力をあらわす指標として用いる積算海氷域面積（前年12月5日～5月31日までの5日ご

との海氷域面積の合計) は、2002 年以降 5 年連続で減少し、2006 年は平年の 64% で、過去最小となった (図 2.2-6)。

2006 年 12 月におけるオホーツク海の半旬海氷域面積は、平年並となっている (図 2.2-5)。

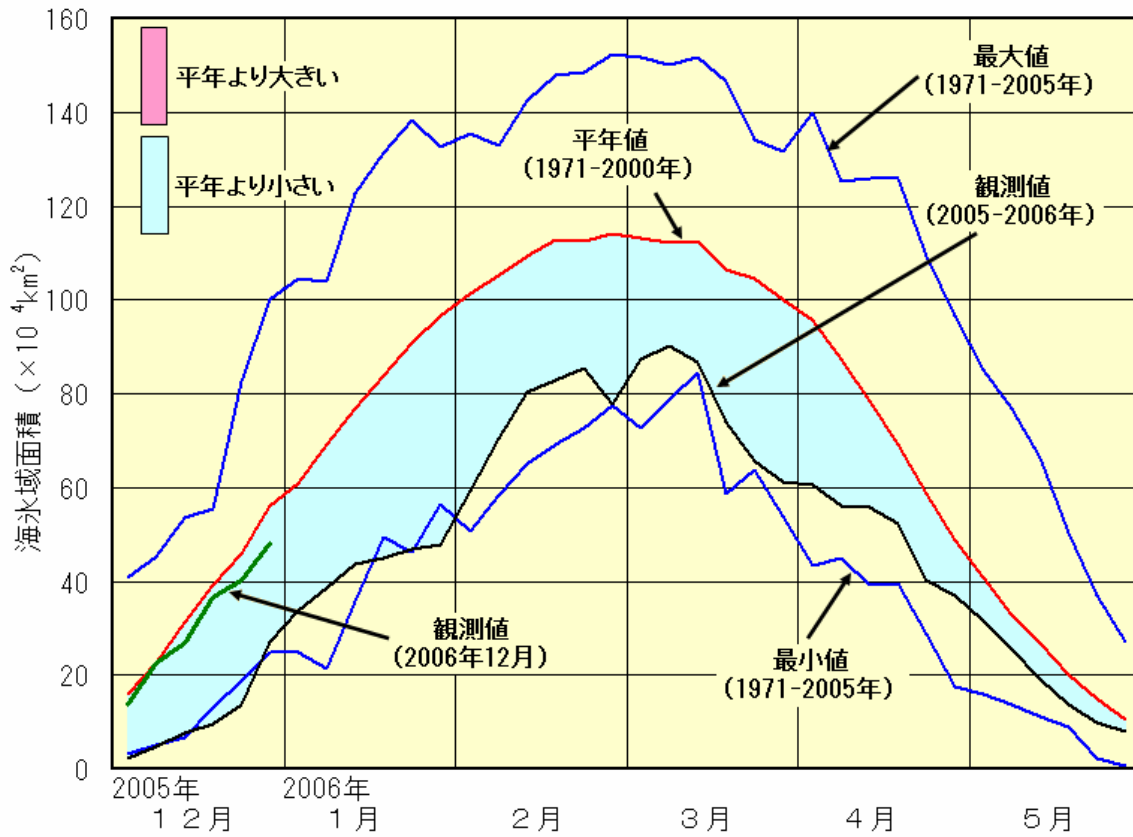


図 2.2-5 2005~2006 年のオホーツク海の半旬ごとの海氷域面積の経過

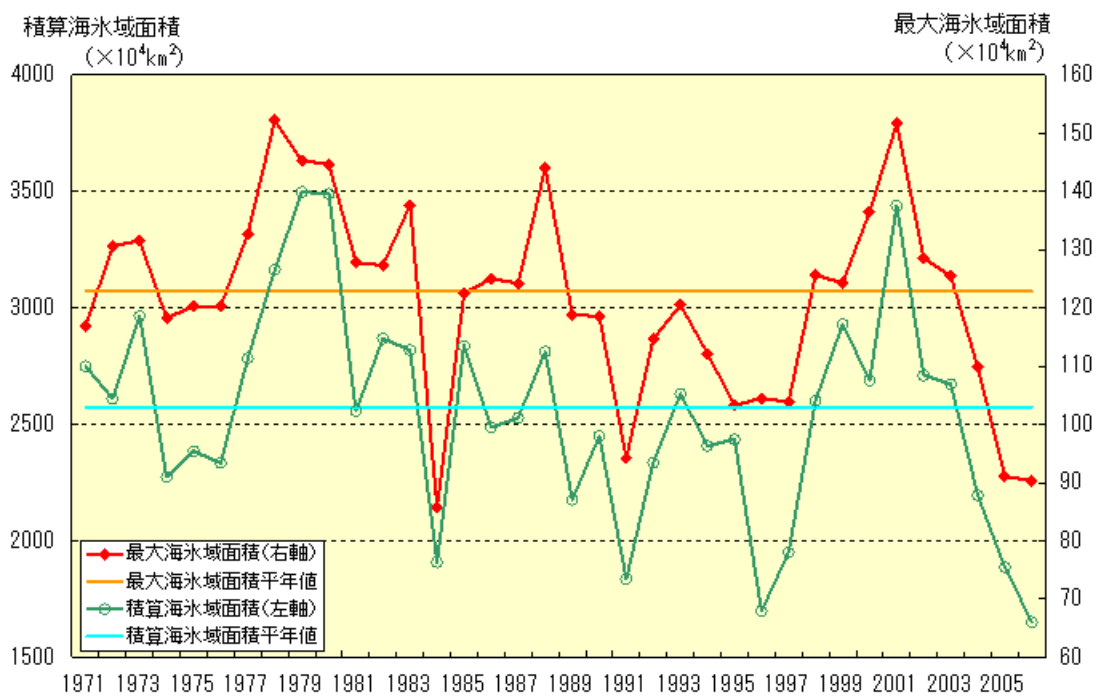


図 2.2-6 オホーツク海の積算海氷域面積 (緑) と最大海氷域面積 (赤) の経年変化 (1971~2006 年)

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、浮遊汚染物質のうちプラスチック類に特に着目しており、発泡スチロール、漁具類（流失したり廃棄されたりしたボンデン等）、薄膜状プラスチック（ポリ袋など、フィルム状のもの）、その他に分類して、それぞれの発見個数を航走100 kmあたりの数に換算してデータを整理している。

2006年のプラスチックなどの浮遊物質の分布を図2.2-7に示す。図には、航走100 kmあたりの浮遊物質の発見個数を、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。2006年に観測した総航走距離は64,705 km、発見した浮遊物質の総個数は3,447個であった。2006年の春季から秋季にかけて、日本周辺海域の一部で50個/100 kmを超える浮遊物質が発見された。また、黒潮および黒潮続流域のやや南にあたる北緯30度付近の海域でも10~20個/100 kmと、比較的多く発見された。北緯20度以南では四季とも数個/100 kmと少なかった。

浮遊物質の各海域における発見個数およびその内訳を図2.2-8に示す。全海域で平均した発見個数は5.4個/100 kmで、2005年の5.2個/100 kmと同程度であった。日本海は12.6個/100 kmで2005年の10.5個/100 kmからやや多くなった。一方、東シナ海では10.0個/100 kmから7.2個/100 kmへと減少した。発見された浮遊物質の内訳では、発泡スチロール（全海域平均53%）および漁具（同16%）の占める割合が高かった。

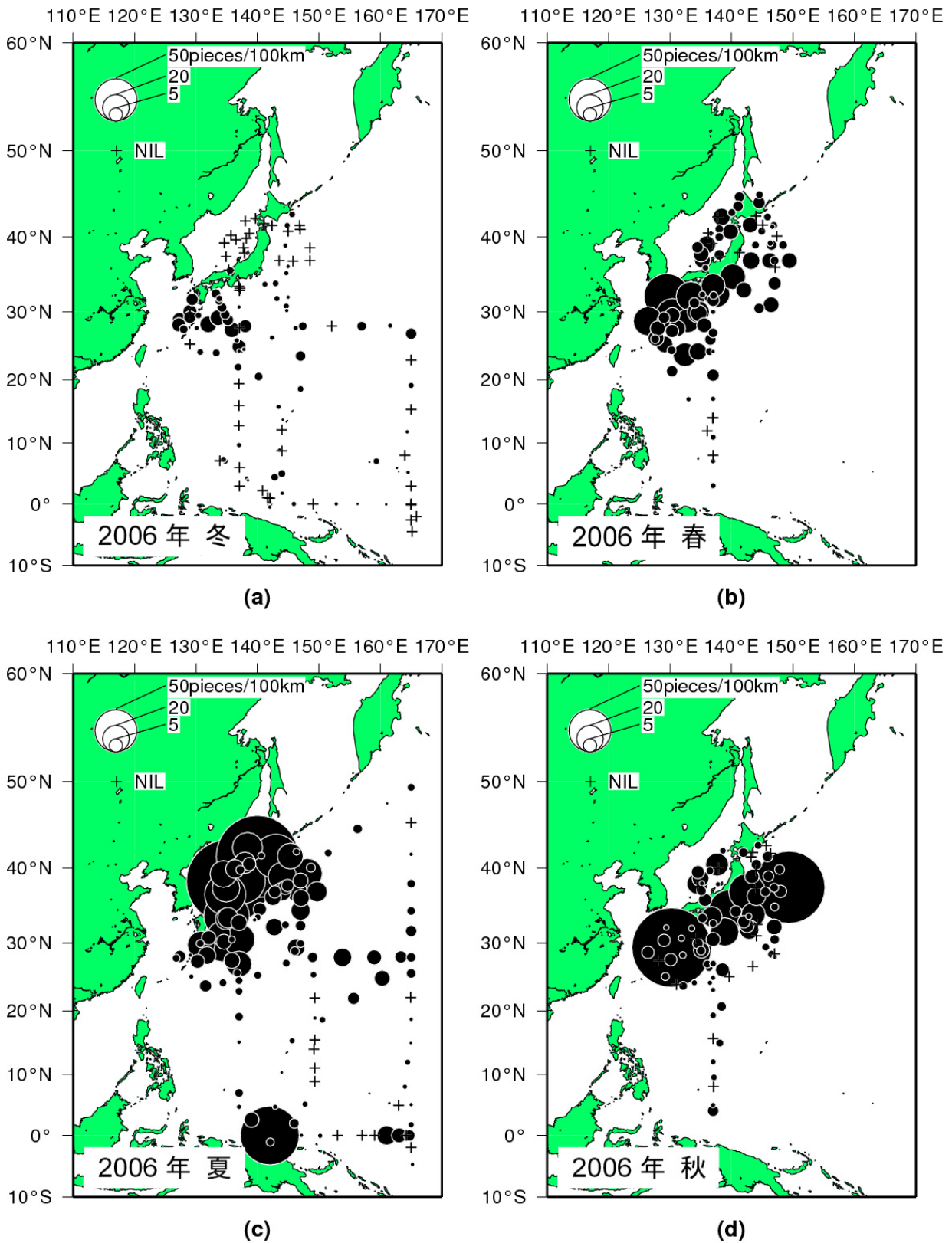


図 2.2-7 2006 年の海面浮遊汚染物質（プラスチック類）発見個数

(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。

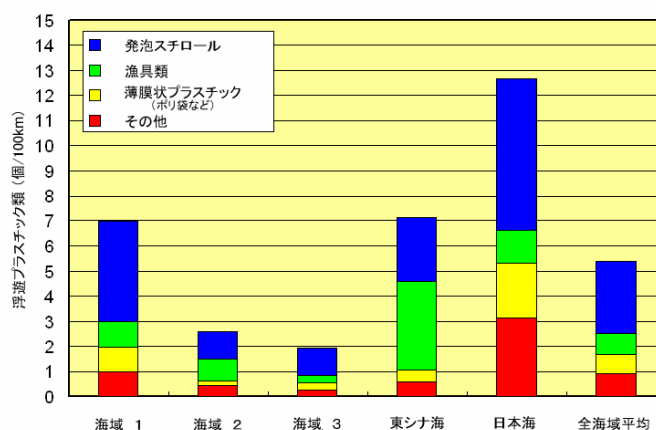
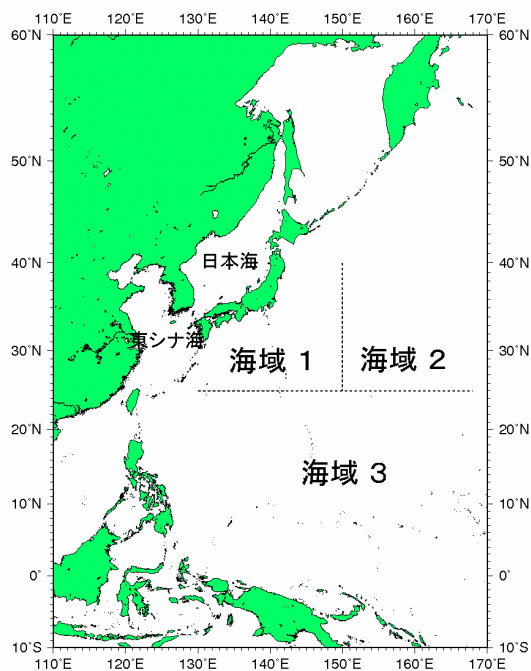


図 2.2-8 2006 年の各海域 (区分は左) におけるプラスチックなどの浮遊物質の発見個数およびその内訳 (右)

2.4.2 浮遊タールボール (油塊)

タールボールは、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^2) 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)。

2006 年に観測した浮遊タールボールの分布を図 2.2-9 に示す。浮遊タールボールの重量をネット開口部が通過した面積で除したタールボール密度 (mg/m^2) として、観測位置に黒丸の大きさ (観測されないときは+) で示してある。2006 年の春季および夏季に日本海で約 $0.1\text{mg}/\text{m}^2$ のタールボールが採取された。また、夏季には東経 165 度線の亜寒帯域で、秋季には本州南東方の黒潮続流域で、それぞれ微量のタールボールが採取された。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。

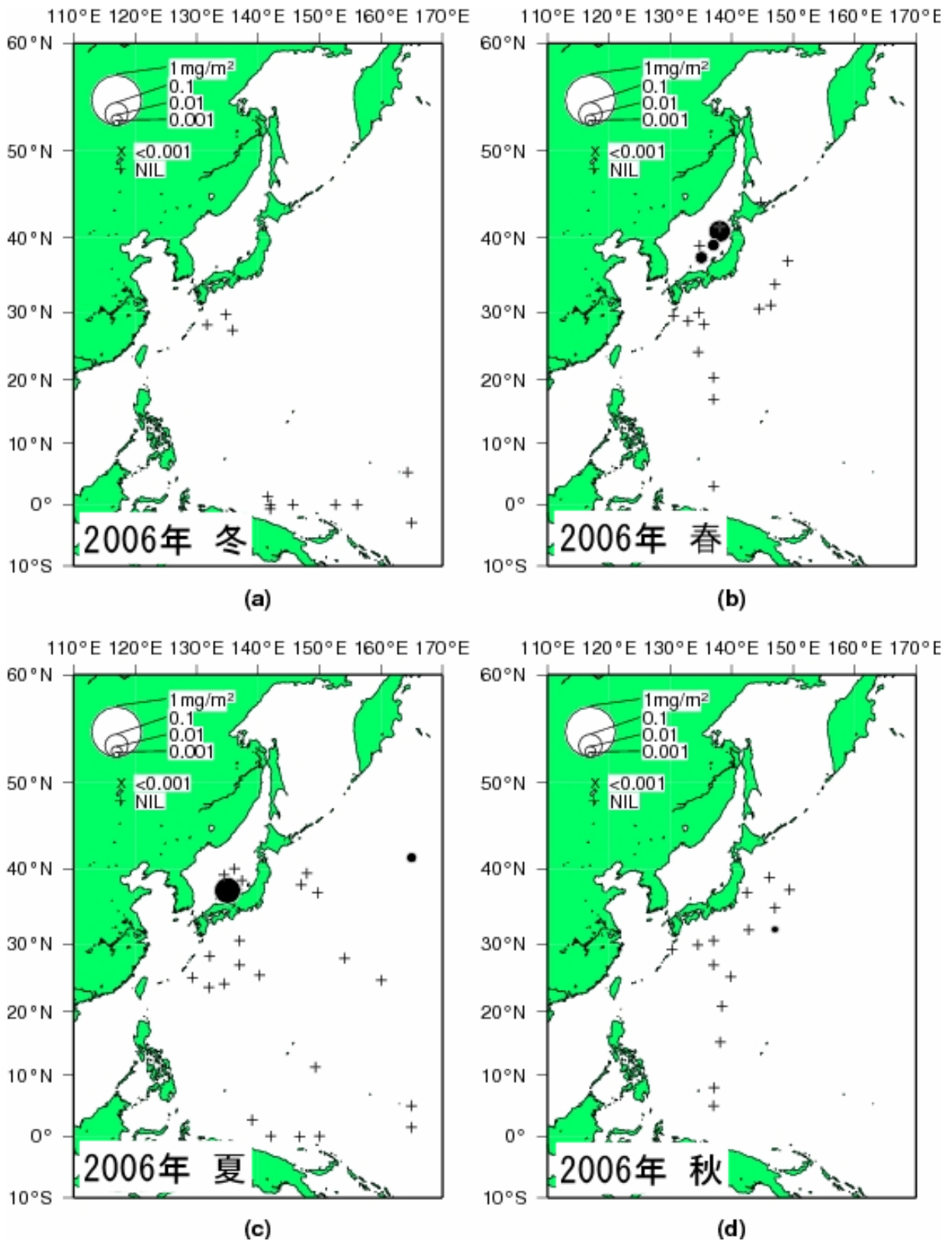


図 2.2-9 2006 年に観測された浮遊タールボールの分布

(a) 冬季、(b) 春季、(c) 夏季、(d) 秋季。

図中の“+”はタールボール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、水銀およびカドミウムの二種類の重金属を観測項目としている。

2006年に観測された表面海水中的の水銀およびカドミウムの濃度を表 2.2-1 に示す（観測定点は図 2.2-10 を参照）。

水銀の最高濃度は房総半島沖で観測された 14ng/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 30 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 79ng/kg であった。この値も上記の環境基準値の 120 分の 1 以下の低濃度である。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、海水中的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 2006年に観測された表面海水中的の重金属（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	0 - 2	9 - 79
	日本海	0 - 5	12 - 34
	房総半島沖	0 - 14	2 - 15
	本州南方	0 - 5	2 - 9
	東シナ海	0 - 4	0 - 6
北西太平洋	東経 137 度線 北緯 20～30 度	2 - 6	1 - 4
	東経 137 度線 北緯 0～20 度	1 - 12	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

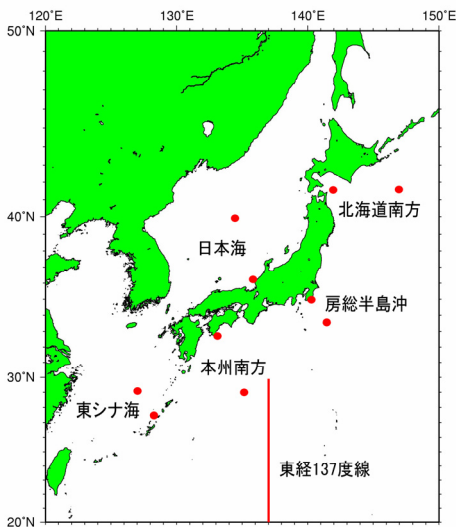


図 2.2-10 重金属（水銀およびカドミウム）の観測定点

赤丸は日本周辺海域の観測定点を示す。赤線は東経 137 度の子午線を示し、観測定点はこの子午線に沿って緯度 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、観測を行っている。

第1章では、温室効果ガスと微粒子（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、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。

地球の気候に影響を及ぼす、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、大気の混濁度を国内14地点で、エアロゾルの光学的厚さを国内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。ただし、オゾン層破壊物質の説明は、温室効果ガスとあわせて第1章で行っている。これらの詳細については「オゾン層観測報告2006」もあわせて参照願いたい。以上の国内観測地点を図3.1-1に示す。

また、第3章では、従来の気候変動監視レポートでは扱わなかった黄砂と酸性雨について述べる。

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章にも述べられているが、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）に記載されているので、こちらをあわせて参照願いたい。

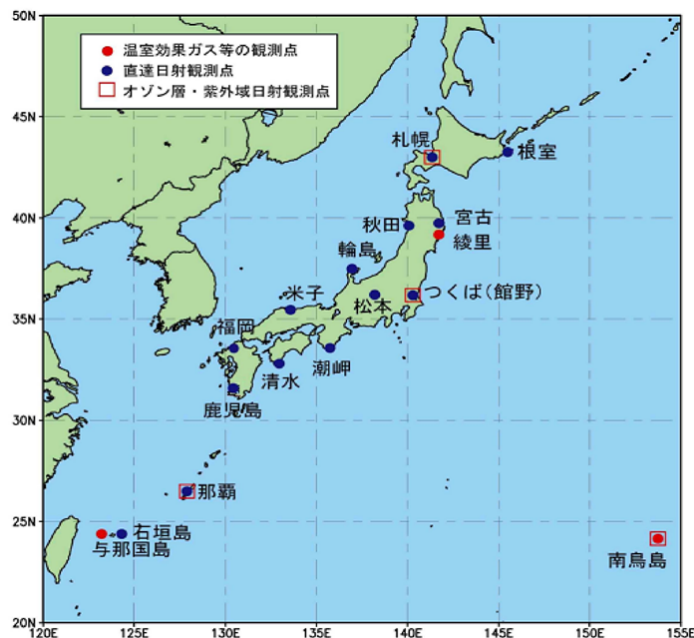


図 3.1-1 温室効果ガス等の観測点（3 地点）、直達日射観測点（14 地点）およびオゾン層・紫外域日射観測点（4 地点）の位置

第1章 温室効果ガスおよびオゾン層破壊物質等の状況

1.1 大気中の温室効果ガスおよびオゾン層破壊物質

2006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。これによれば、二酸化炭素は着実に増加しつつある。メタンはほぼ一定で、一酸化二窒素はわずかに増加していることがわかる。温室効果ガスではないが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	2005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 ²)
二酸化炭素	約 280 ppm	379.1 ppm (+35.4%)	+2.0 ppm	不定(5~200)	1.46
メタン	約 700 ppb	1783 ppb (+154.7%)	0ppb	12	0.48
一酸化二窒素	約 270 ppb	319.2 ppb (+18.2%)	+0.74 ppb	114	0.15
一酸化炭素*		約 95 ppb	+1ppb	約 0.25	-

*一酸化炭素それ自身は温室効果ガスではないが、大気中でのさまざま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。

*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 2000 年までの濃度増加分に対応する値である。

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。産業革命(18世紀後半)以降の人間活動にともなう化石燃料の消費とセメント生産および森林破壊などの土地利用の変化が、大気中の二酸化炭素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、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、季節変化を繰り返しながら、その後年々増加し、WDCGG の解析による 2005 年の世界平均濃度は前年に比べて 2.0ppm 増えて 379.1ppm 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 35.4%増加している。

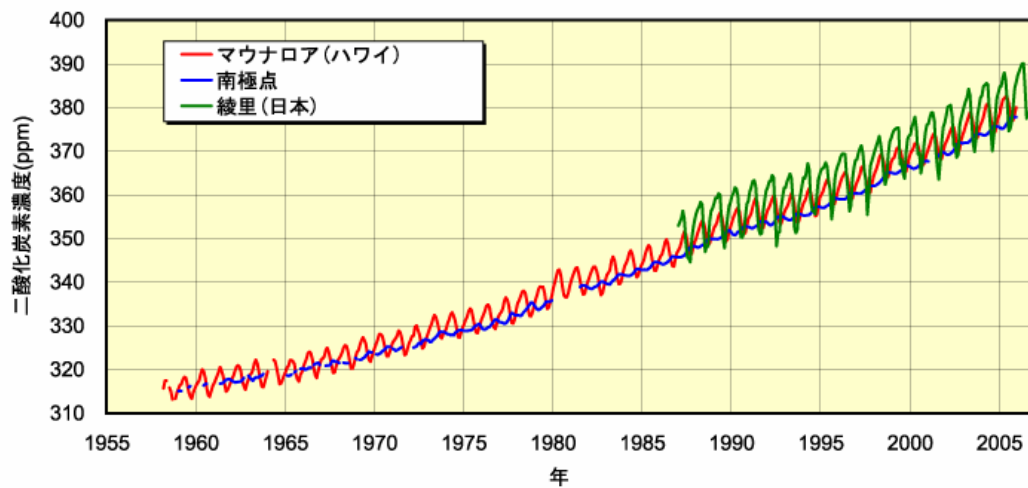


図 3.1-2 2006 年までの大気中の二酸化炭素濃度の経年変化

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。

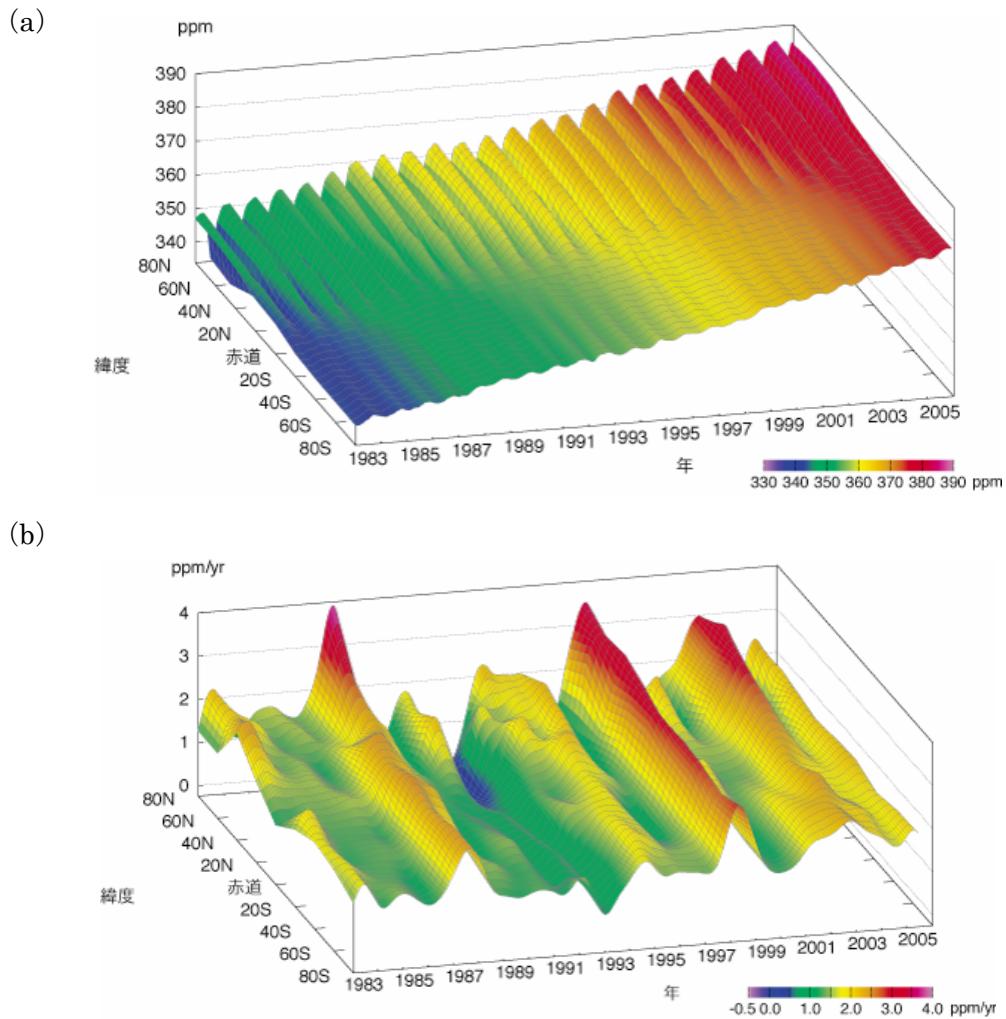


図 3.1-3 緯度帯別の大気中の二酸化炭素濃度 (a) と濃度増加率 (b) の経年変化

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増加率の経年変化を示す。

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と濃度増加率の経年変化を示す。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、主に陸域の植物活動によるものである。陸域の面積の少ない南半球では季節変化の振幅が小さい。両半球ともに二酸化炭素濃度が年々増加していて、世界平均濃度の増加率は 1983～2005 年の平均で 1.7ppm/年である。

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、および濃度増加率の経年変化を示す。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ほうが濃度が高い。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、この地域の影響を強く受けるためである。なお、2005 年の濃度増加率が大きいのは、北半球で過去最高となった世界的な高温によるものである。

2006 年の年平均濃度は、綾里で 385.3ppm、南鳥島で 383.7ppm、与那国島では 384.6ppm で、前年に比べ綾里で 2.8 ppm、南鳥島で 3.0 ppm、与那国島で 2.1 ppm いずれも増加した。(南鳥島は台風被害のため、例年濃度の低い 9、10 月が欠測となっており、年平均濃度が高めにでている可能性がある。2005 年の 9、10 月を除いた平均値との前年差は 2.3 ppm である。)

二酸化炭素濃度の増加率は決して一定ではない。世界的には、図 3-1.3 でみられるように、増加率は 1983 年、1987～1988 年、1994～1995 年、1997～1998 年、2002～2003 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 年にかけての濃度増加率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。

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、濃度増加率は大きく減少した。これは、1991 年 6 月のピナトゥポ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と海洋による二酸化炭素の吸収が強まったことによる。このように、二酸化炭素の濃度増加率の年々変動は、気候の年々変動を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精度の高い予測を可能とするためには、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。

また、気象庁気象研究所では温室効果ガス観測の一環として、(財)日航財団、国土交通省および(株)日本航空の協力を得て、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 の大気分析を行った。図 3.1-5 は、この観測で得られた 1993 年 4 月から 2005 年 11 月までの二酸化炭素濃度と年増加率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濃度変動がみられる。

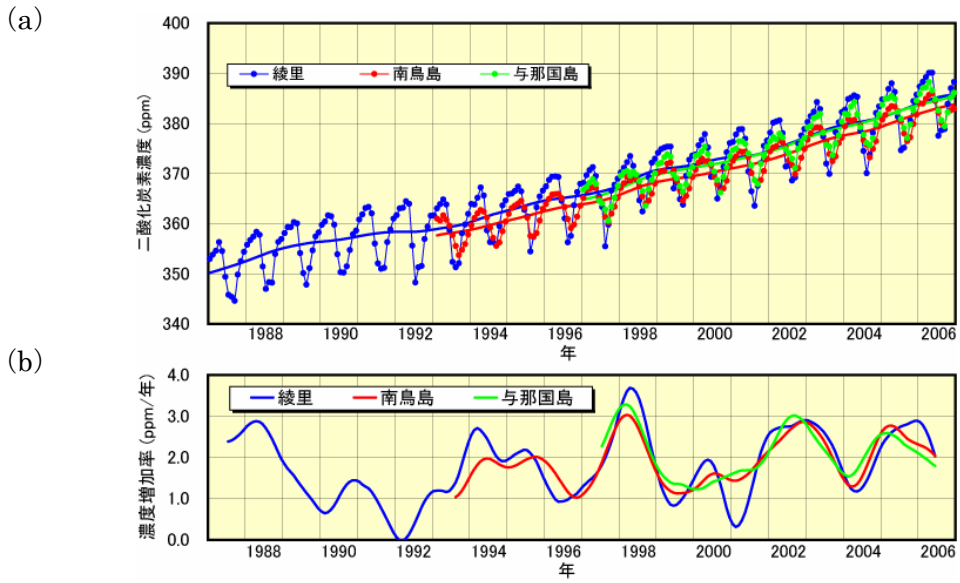


図 3.1-4 綾里、南島および与那国島における大気中の二酸化炭素濃度(a)と濃度増加率(b)の経年変化
 綾里、南島および与那国島で観測された大気中の二酸化炭素月平均濃度およびその季節変化成分を除いた濃度の経年変化と、濃度増加率の経年変化を示す。

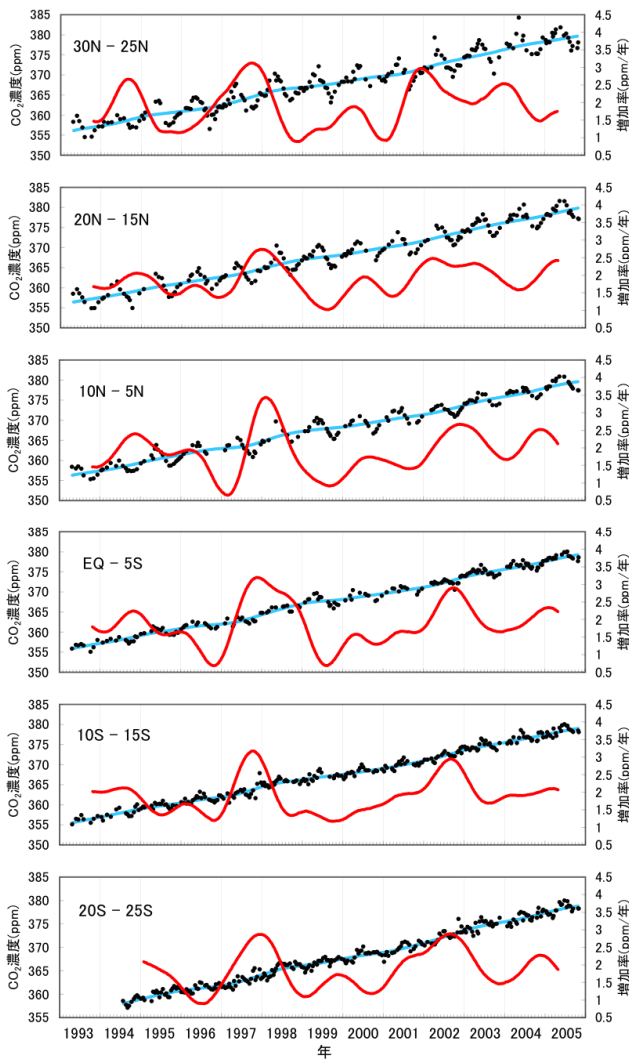


図 3.1-5 高度 8~13 km で観測された緯度帯別の二酸化炭素濃度と年増加率の経年変化

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、赤実線は濃度増加率を示す。

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（非常に反応性が高く不安定な分子）と反応し、消失する。大気中のメタン濃度は 19 世紀初頭から増加を続けており、WDCGG の解析では 2005 年の世界平均濃度は 1783 ppb である。この値は 18 世紀以前の平均的な値とされる 700 ppb と比べて 154.7%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増加率の経年変化を示す。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、いずれの年も北半球の中・高緯度帯から南半球に向かうにつれて濃度が二酸化炭素に比べて急激に低くなっている。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、メタンが熱帯海洋上の豊富な OH ラジカルと反応し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。今後もこの状態が継続するのかどうか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、および濃度増加率の経年変化を示す。2004 年以降、濃度変化には、はっきりした傾向はみられない。2006 年の年平均濃度は、綾里で 1860 ppb、南鳥島で 1806 ppb、与那国島では 1826 ppb で、前年に比べ、綾里は変化なく、南鳥島で 6 ppb、与那国島で 2 ppb 増加した。ただし、台風被害のため、例年濃度の低い 9、10 月が欠測となった南鳥島は 2005 年の両月を除いた平均値との前年差は 3 ppb である。

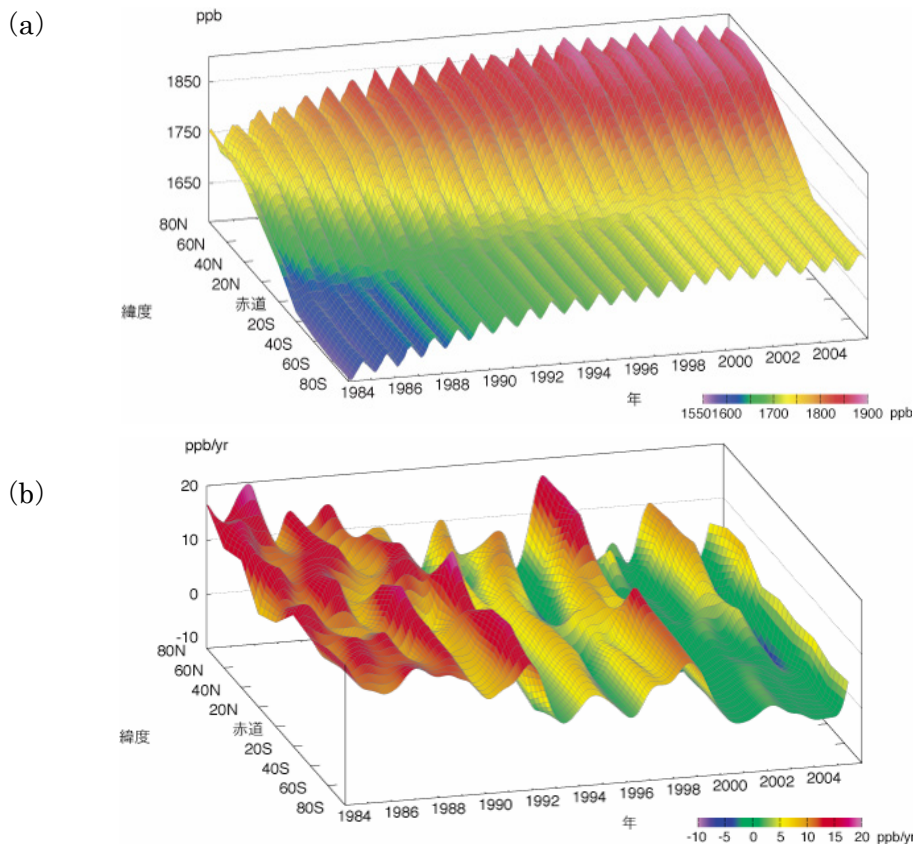


図 3.1-6 緯度帯別の大気中のメタン濃度(a)と濃度増加率(b)の経年変化

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増加率の経年変化を示す。

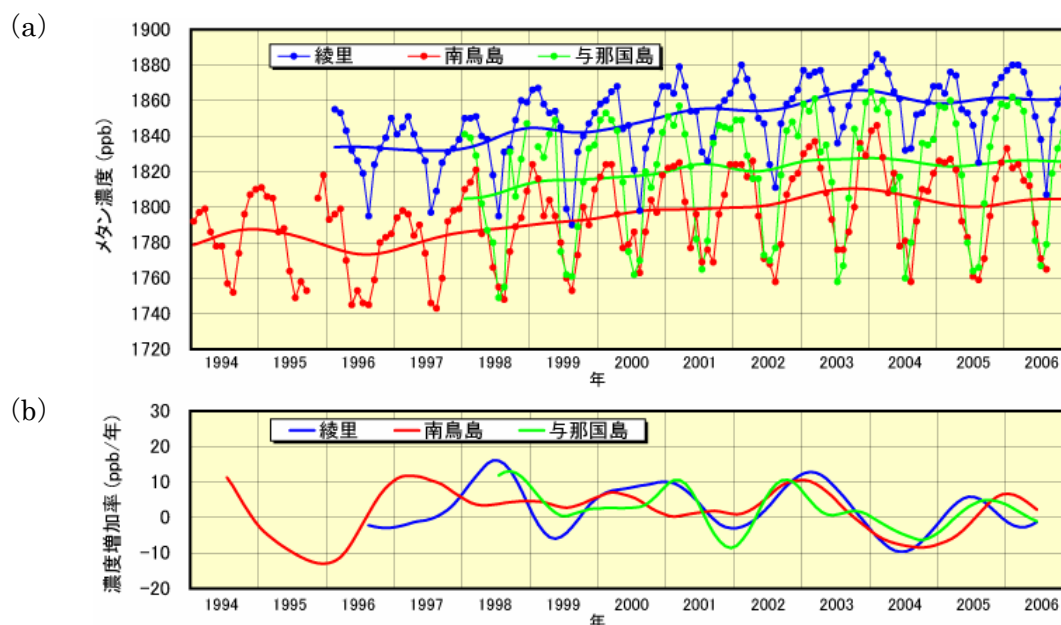


図 3.1-7 綾里、南鳥島および与那国島における大気中のメタン濃度(a)と濃度増加率(b)の経年変化
綾里、南鳥島および与那国島で観測された大気中のメタン月平均濃度およびその季節変化成分を除いた濃度の経年変化と、濃度増加率の経年変化を示す。

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200倍の大きな温室効果をもつ気体であり、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ともなって放出され、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2005年の世界平均濃度は319.2 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18.2%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。2006年の年平均濃度は321.0 ppbで、引き続きわずかながら増加傾向にある。

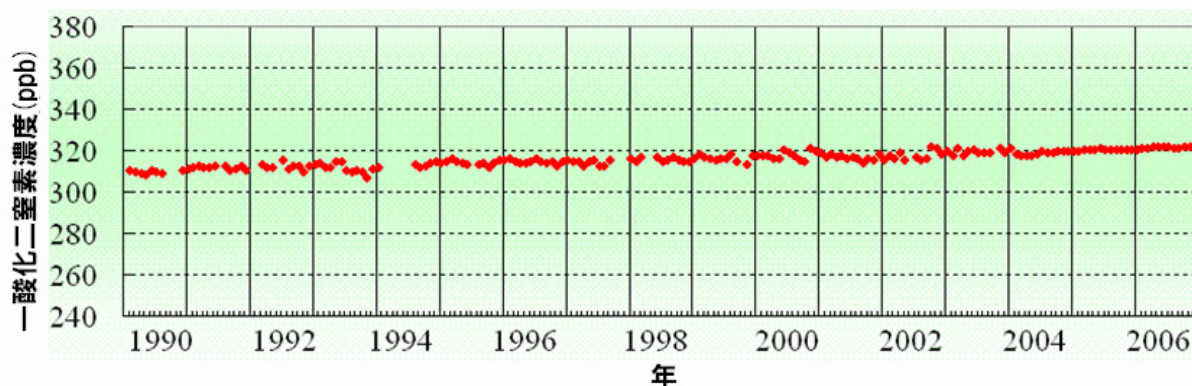


図 3.1-8 綾里における大気中の一酸化二窒素濃度の経年変化
綾里における大気中の一酸化二窒素月平均濃度の経年変化を示す。

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する物質でもある。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、大気寿命実験/全球大気気体実験 (ALE/GAGE) の観測データによると、CFC-11 濃度は 1993 年に最大値に達して 1994 年から減少を開始し、CFC-12 濃度は増加が続いているものの増加率が非常に小さくなり、CFC-113 濃度は 1996 年までに増加が止まった。

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 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 年まで増加し、その後もごく緩やかに増加していたが、2006 年にはやや減少した。CFC-113 はほとんど変化がない。2006 年の年平均濃度は CFC-11 が 253 ppt、CFC-12 が 554 ppt、CFC-113 が 79 ppt 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) の特別報告書によれば、毎年 HCFCs は +3~+7%、HFC は +13~+17% の割合で増加している。HFCs、PFCs は二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素とともに京都議定書における削減対象の温室効果ガスである。

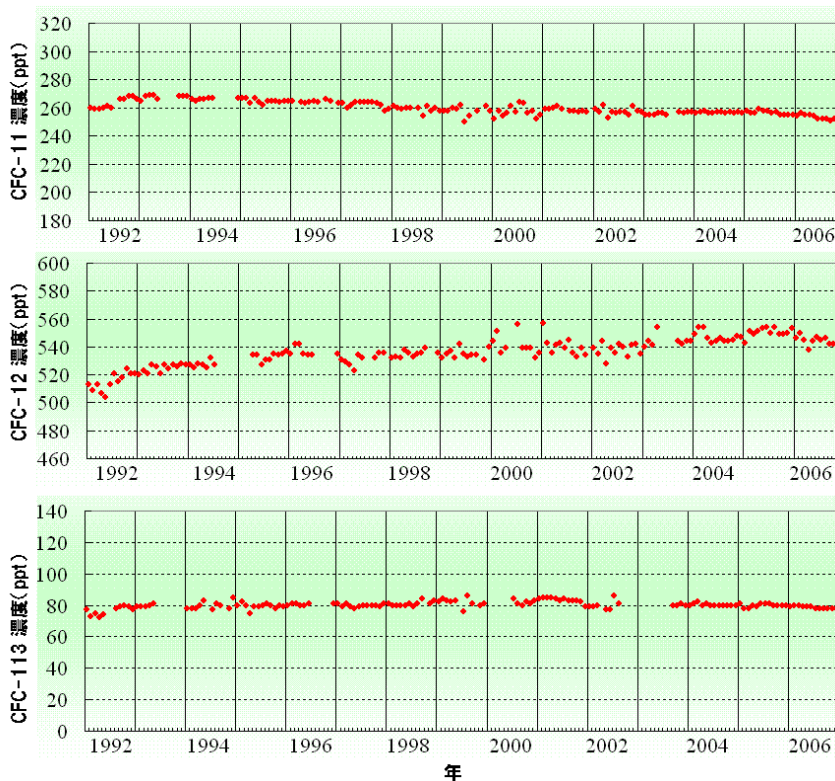


図 3.1-9 綾里における大気中のクロロフルオロカーボン類濃度の経年変化

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しないため、温室効果ガスではない。しかし、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 2005 年の世界年平均濃度は約 95ppb 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増加率の 1992 年から 2005 年までの変化を示す。冬季から春季にかけて濃度が高く、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、OH ラジカルの多い赤道域に運ばれるにつれて一酸化炭素が消滅し、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るが、これは上述したように、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。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。2006 年の一酸化炭素年平均濃度は、綾里で 165ppb、与那国島で 159ppb であり、前年に比べ綾里で 7ppb、与那国島で 1ppb 増加した。石炭を多用する中国沿岸地域は一酸化炭素を大量に放出している地域と考えられている。ほぼ同緯度に位置しながら、南鳥島より与那国島での濃度が高いのは、この地域からの放出の影響を受けているためと考えられる。また、2003 年～2006 年各年前半に与那国島の濃度が高くなっているのも、大陸からの大気の流れと関連していると考えられる。

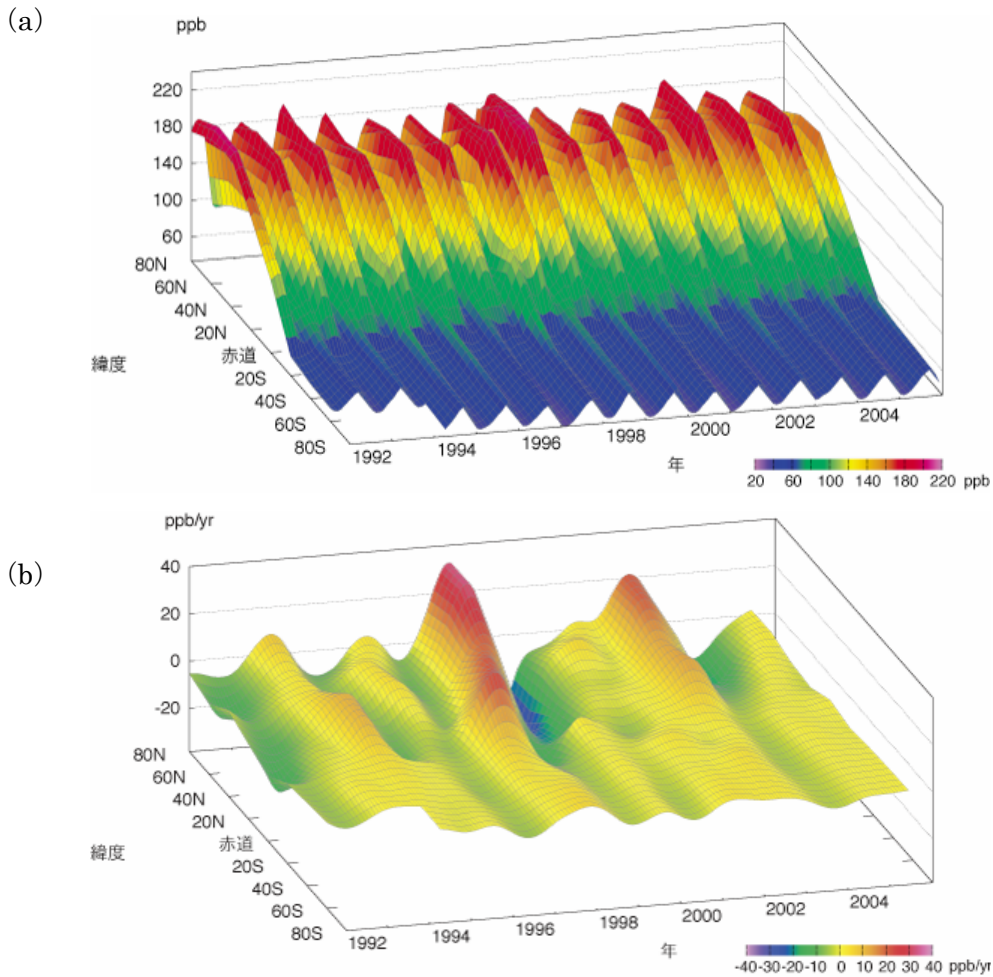


図 3.1-10 緯度帯別の大気中的一酸化炭素濃度(a)と濃度増加率(b)の経年変化

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増加率の経年変化を示す。

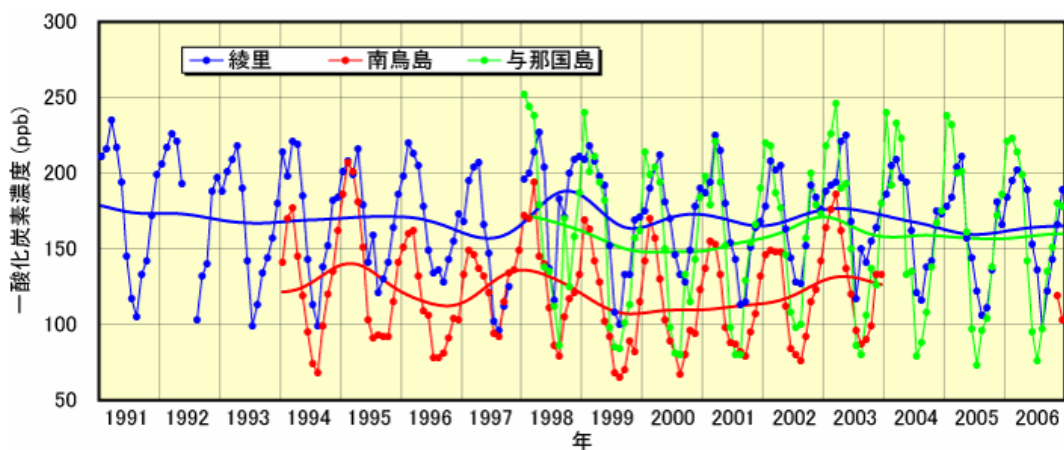


図 3.1-11 綾里、南鳥島および与那国島における大気中的一酸化炭素濃度の経年変化

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。(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及ぼす。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(NOx)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(HOx: HO2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。綾里では、観測を開始した1990年代以降緩やかな濃度増加がみられる。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、中国大陆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。2006年の年平均濃度は綾里で39 ppb、南鳥島で30 ppb、与那国島では39 ppbであった。前年に比べて、綾里は同じであるが、南鳥島で1 ppb、与那国島で3 ppb増加した。(南鳥島は台風被害により9月のデータがないため、9月を除く11か月間で年平均濃度を算出している。)

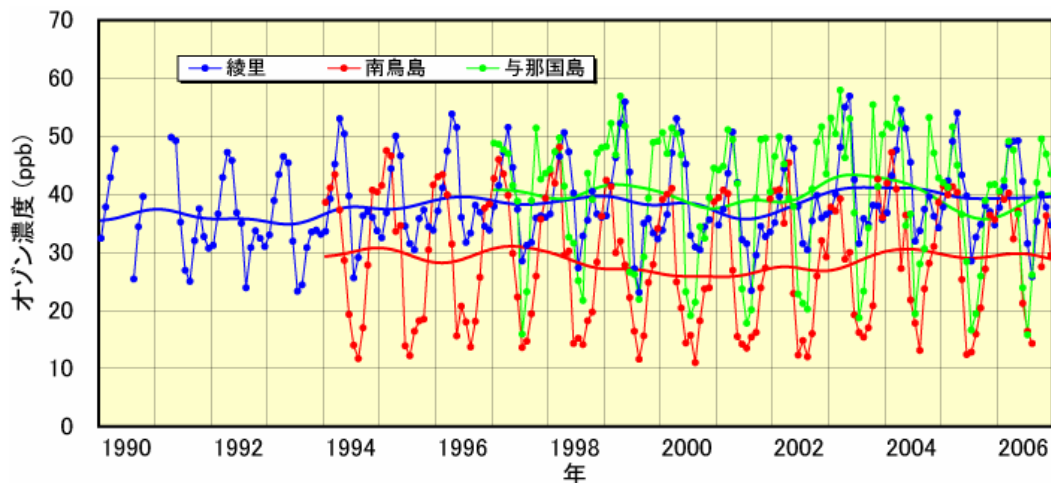


図3.1-12 綾里、南鳥島および与那国島における地上オゾン濃度の経年変化

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。しかし、二酸化炭素の吸収量は海域によって大きく異なり、太平洋の赤道域のように、逆に大気中に二酸化炭素を放出している海域もある。さらに、季節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によって吸収・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・季節別に二酸化炭素の吸収量または放出量を観測値にもとづいて見積もることが必要である。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。

図 3.1-13 に、2006 年冬季、春季、夏季および秋季の凌風丸および啓風丸による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は二酸化炭素の海洋から大気への放出域、負である海域は大気から海洋への吸収域となる。冬季の赤道域および夏季の日本南方海域で二酸化炭素の放出域がみられるほかは、おおむね二酸化炭素の吸収域となっている。

図 3.1-14 (左) に、東経 137 度線に沿って平均（北緯 7～33 度）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。冬季の表面海水中の二酸化炭素濃度の増加率は、1984～2006 年の 23 年間の平均で 1.6 ± 0.3 ppm/年（±は 95%信頼限界）であり、ここでの大気中の濃度の増加率 1.7 ± 0.1 ppm/年とほぼ同じである。表面海水中の二酸化炭素濃度の年ごとの変動は大気中のそれより大きい、長期的な増加率は大気中の増加率と有意な差がみられないこと、また大気-海洋間の二酸化炭素フラックス（移動量）は表面海水中と大気中の濃度差に比例することから、この海域における二酸化炭素の吸収能力は変化していないと推定される。

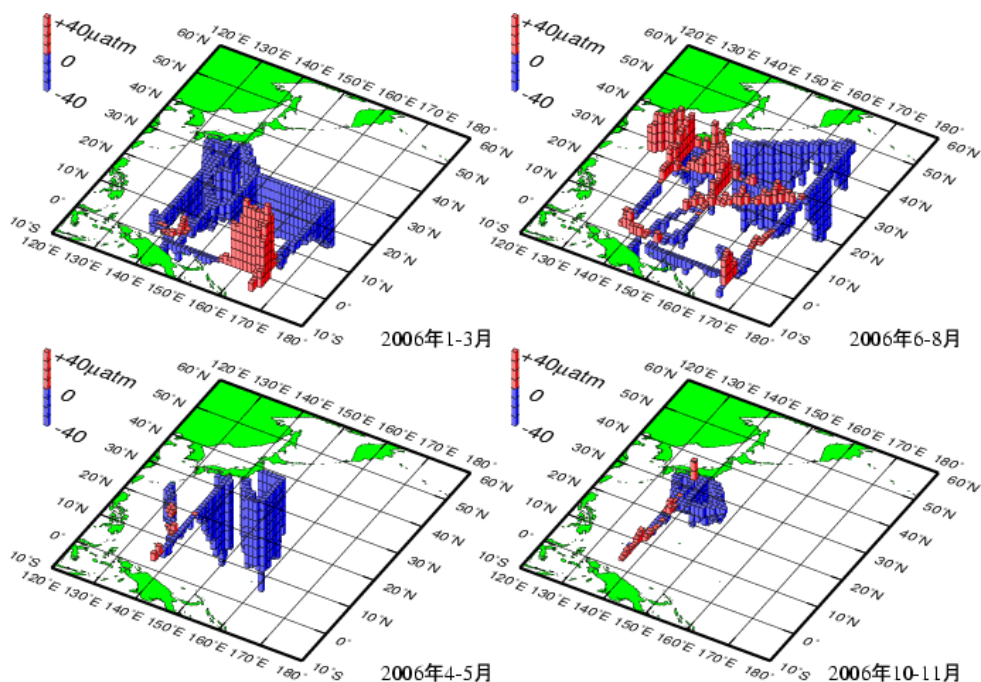


図 3.1-13 2006 年冬季（1～3 月）、春季（4～5 月）、夏季（6～8 月）、秋季（10～11 月）の二酸化炭素観測結果
表面海水中の二酸化炭素分圧の大気中の二酸化炭素分圧に対する差（単位は μ atm）。二酸化炭素の海洋から大気への放出域を赤、大気から海洋への吸収域を青であらわしている。

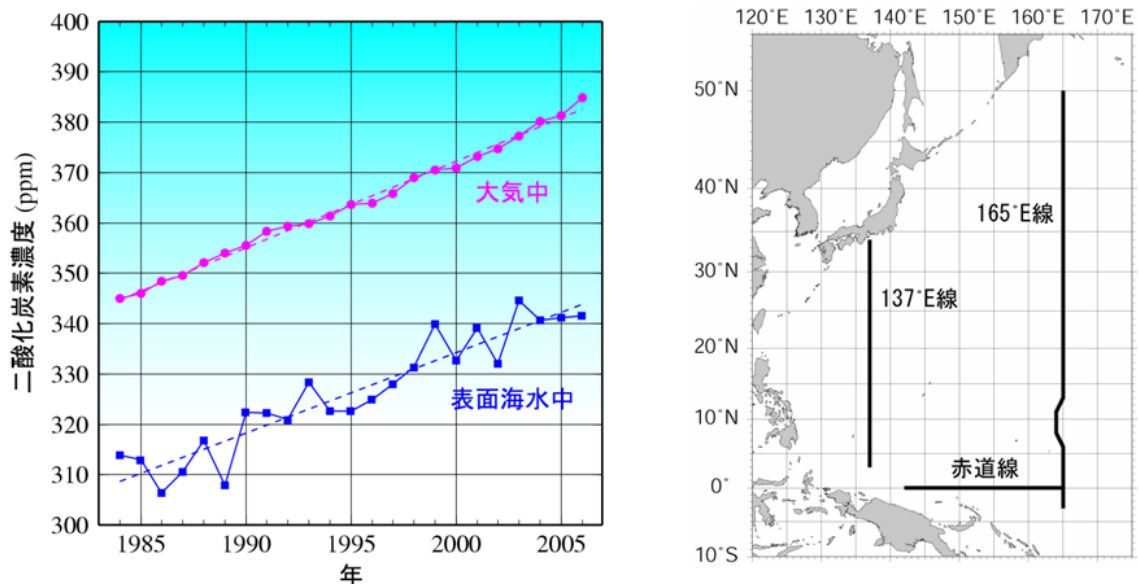


図 3.1-14 (左) 東経 137 度線に沿った冬季の表面海水中と大気中の二酸化炭素濃度の経年変化 (北緯 7~33 度の平均値、1984~2006 年) (右) 海洋気象観測船の観測線

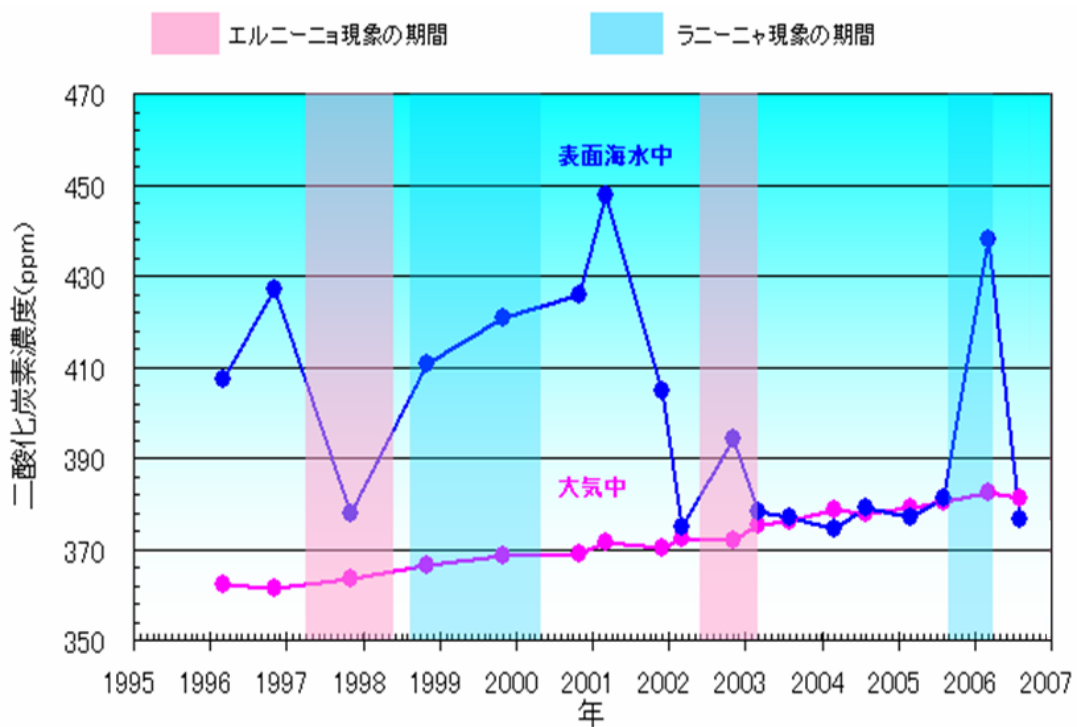


図 3.1-15 太平洋西部の赤道に沿った表面海水中 (青線) および大気中 (赤線) の二酸化炭素濃度の経年変化 (東経 156~165 度の平均値、1996~2006 年)

エルニーニョ現象の期間を赤、ラニーニャ現象の期間を青であらわしている。

図 3.1-15 に、太平洋西部の赤道に沿って平均 (東経 156~165 度) 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を示す。この海域での表面海水中の二酸化炭素濃度は、2002 年冬季から 2005 年夏季にかけて大気中の濃度との差が小さくなっていましたが、2006 年冬季は大気中の濃度より 50 ppm 以上高くなった。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。東経 156~165 度の観測範囲は暖水域の東端付近にあたるものの、海況によっては湧昇域と暖水域の境界の移動の影響が不明確になる場合もあるが、2005 年秋季から 2006 年春季にかけて、ラニーニャ現象が発生していた期間に表面海水中の二酸化炭素濃度が高くなったのは、東風（貿易風）が強まって湧昇域と暖水域の境界が西方に移動し、表面海水中の二酸化炭素濃度が高くなったものと考えられる。ラニーニャ現象終息後の 2006 年夏季には、表面海水と大気中の濃度差は小さくなった。これは、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、太平洋西部の赤道付近が二酸化炭素濃度の低い暖水で占められたためと考えられる。

東経 137 度線や東経 165 度線等の観測結果から、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、大気-海洋間の二酸化炭素フラックスを計算した。図 3.1-16 に、全海洋の 2.6% を占める北西太平洋亜熱帯域（北緯 11~30 度、東経 130~165 度）で 1 年間に吸収された正味の二酸化炭素量の 1996 年から 2005 年までの季節変動および経年変動を示す。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、0.25~0.75（平均 0.58）億トンであり、2005 年は 0.64 億トンであった。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（1990 年代の平均で炭素換算 17 億トン）の約 3% に相当する。

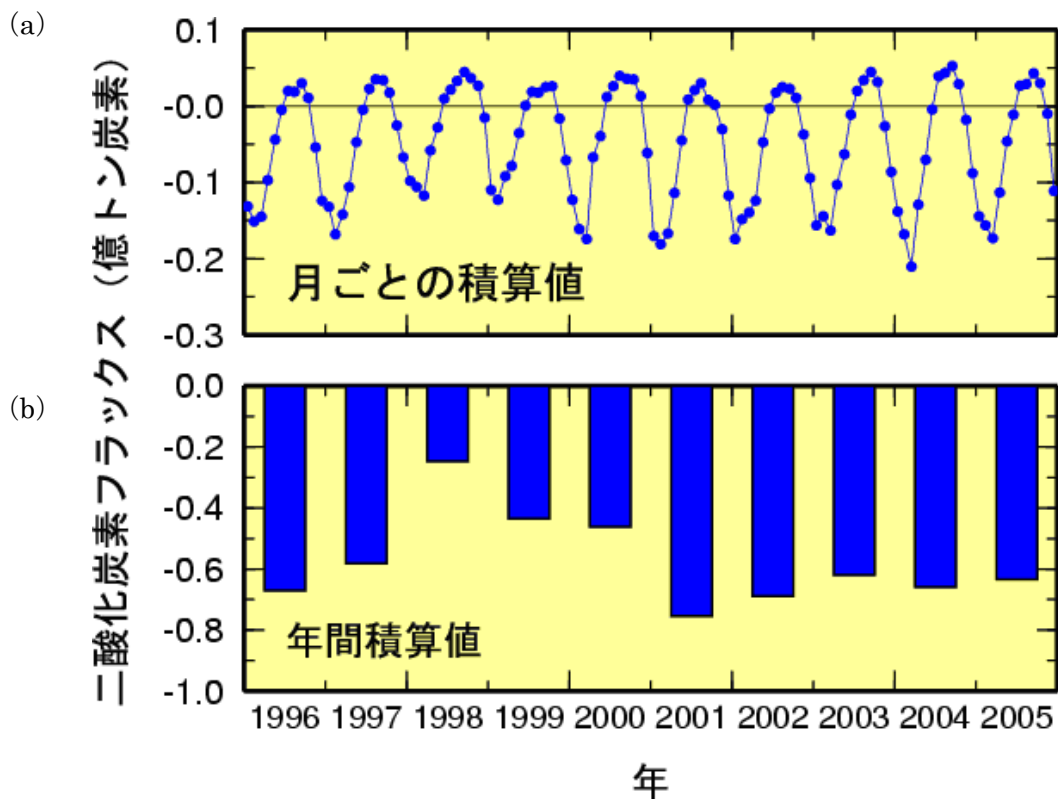


図 3.1-16 北西太平洋亜熱帯域（北緯 11~30 度、東経 130~165 度）における大気-海洋間の正味の二酸化炭素フラックスの (a)月ごとの積算値および (b)年間積算値（1996~2005 年）
単位は炭素に換算した重量（億トン炭素）で、大気への放出を正としている。

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、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。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 14 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（大気の濁り具合）が、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。

1935～2006 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国 14 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 月のエルチチョン火山噴火（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。1996 年頃には日本における混濁係数は、エルチチョン火山噴火以前のレベルに戻り、その後わずかながら減少傾向を示している。

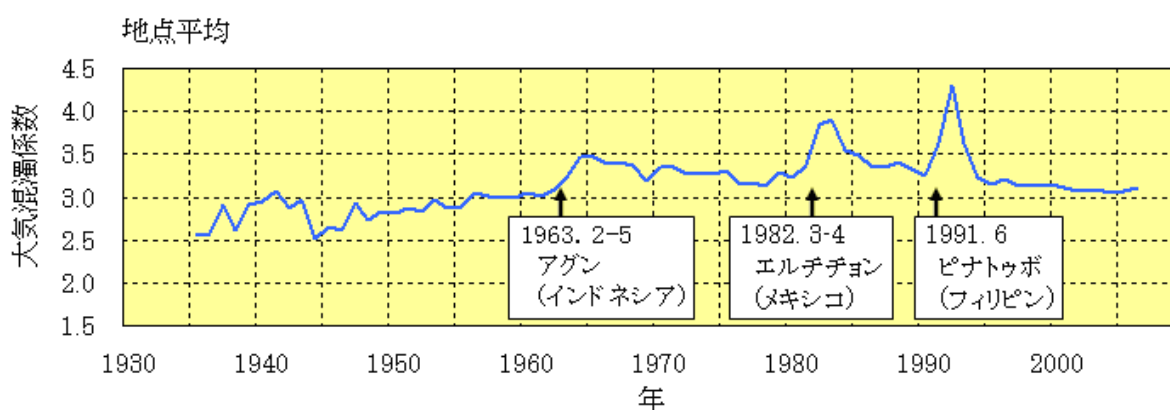


図 3.1-17 混濁係数の経年変化（1935～2006 年）

水蒸気や黄砂の影響を取り除くため、各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ロゾル光学的厚さ

図 3.1-18 は、それぞれ綾里、南鳥島、与那国島における 1998～2006 年のエロゾル光学的厚さ（エロゾルの影響が最も顕著な波長 500nm における光学的厚さ）およびオングストローム指数（エロゾル粒径の指標で、値が大きいほど粒径の小さいエロゾルが相対的に多いことを示す）の月平均値の経年変化を示す。（ただし、サンフォトメータによる観測は晴天時に限られるため、

観測数が少ない場合は月平均値がその月の実際の平均的な状態と異なる場合がある。）

綾里では春季から夏季にかけて極大、冬季に極小になる。この原因は、春に大陸から飛来する黄砂と夏に日本付近を覆う太平洋高気圧中の海洋性気団による影響が考えられる。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考えられる。2003年5月の高いエアロゾル光学的厚さの値は、シベリアでの森林火災の煙によるものである。これについては、気象庁「気候変動監視レポート2003」に詳しい解説がある。また、2006年4月の高いエアロゾル光学的厚さは、黄砂の影響によるものである。

南鳥島では、ほぼ年間を通してほかの観測点に比べて光学的厚さが小さい。これは、大陸のエアロゾル発生源から遠いためと考えられる。また、オングストローム指数が綾里や与那国島に比べて小さいことが多く、南鳥島上空では、綾里や与那国島の上空に比べて粒径の小さなエアロゾルが相対的に少ないことを示している。南鳥島では、春季に極大、秋季に極小をとることが多い。南鳥島の春季の平均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、アジア大陸からの黄砂や大気汚染の長距離輸送の影響が示唆される。

与那国島では、冬季から春季にかけて極大となり、夏季から秋季にかけて極小となっている。冬季から春季にかけて極大になるのは、大陸からの吹き出しの影響で、大陸起源の黄砂や汚染大気、森林火災の煙などのエアロゾルが運ばれやすいためと考えられる。

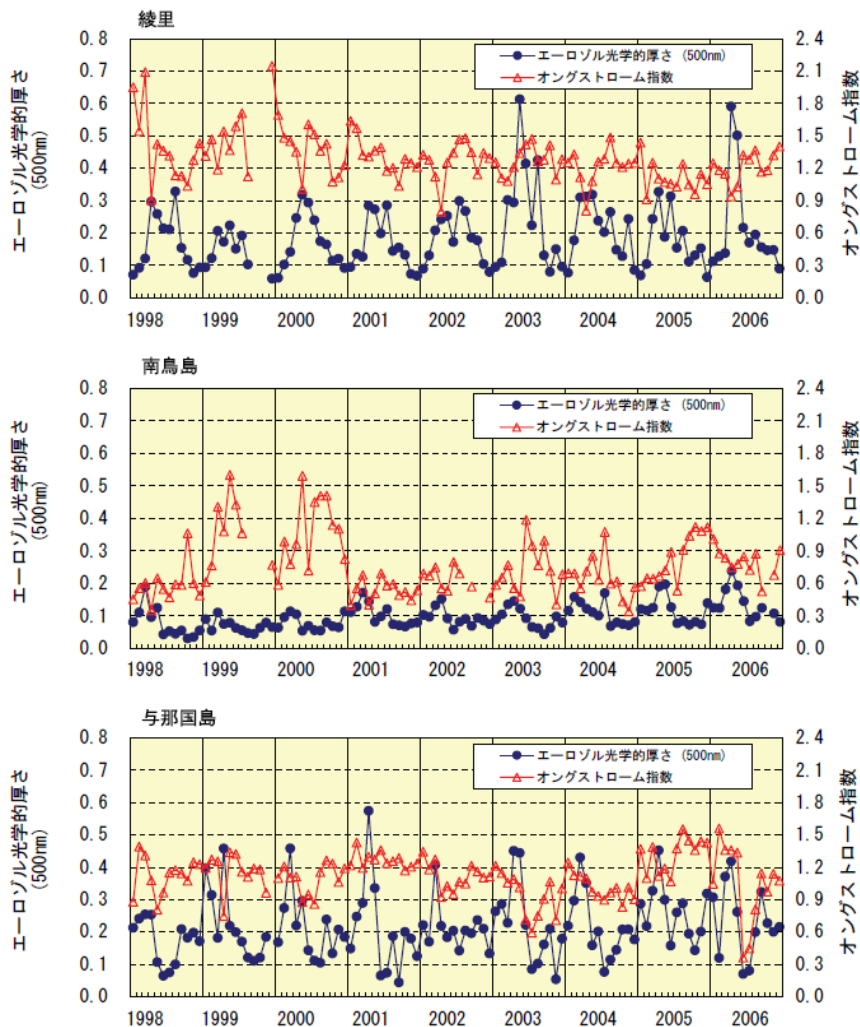


図 3.1-18 綾里, 南鳥島, 与那国島における 1998~2006 年の波長 500nm のエアロゾル光学的厚さとオングストローム指数

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る散乱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。また反射する際の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球形の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を行っている。

図 3.1-19 に 2005 年 12 月から 2006 年 11 月の間を 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は変動が大きい。地面に近づくほどエアロゾルの量は多くなっている。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。これは大陸から飛来する黄砂によるものである。

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。

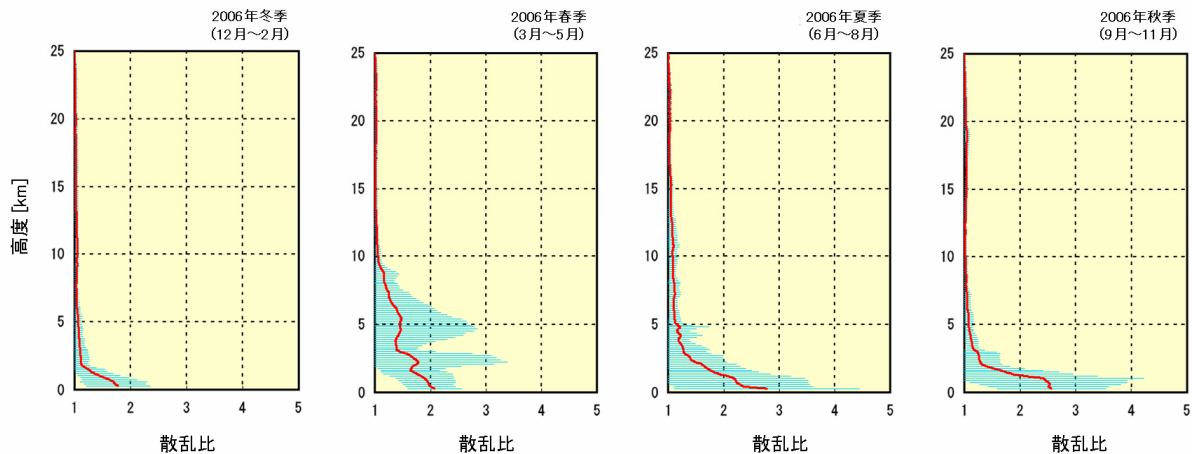


図 3.1-19 綾里における 2006 年のエアロゾルの鉛直分布 3 か月平均値（冬、春、夏、秋）

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

オゾンは成層圏（高度 10～50km）に多く存在し、太陽からの有害な紫外域日射を吸収し、地上の生態系を保護している。南極域の上空では毎年 9 月から 11 月にかけて、この成層圏のオゾンが大きく減少する現象が 1980 年代初めから出現するようになり、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、極夜や南極大陸の地形等に起因する南極域特有の気象条件が強く関わっているが、オゾンホールを出現させた主因は、クロロフルオロカーボン類（一般にフロンと呼ぶ）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、無毒等の特性により、洗浄剤、噴射剤、冷媒、消火剤等に広く利用されてきた。しかし、その化学的安定性から、対流圏ではほとんど分解されず徐々に成層圏へと広がり、そこで分解して放出する塩素がオゾンを破壊することが明らかとなった。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にとどまらず、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。

ここでは、世界全体、日本上空、南極域上空に分けて、オゾン層の 2006 年の状況ならびに長期変化傾向について述べる。さらに詳細な解析については、「オゾン層観測報告：2006」を参照願いたい。本章では、オゾン層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全量とオゾン鉛直分布に関する資料を用いている。オゾン全量データを面的に説明する際には衛星による観測データを用いている。また、2006 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。なお、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

衛星観測データによれば、2006 年の世界のオゾン全量は、1979～1992 年の平均値と比較すると、ほとんどの地域で少なめであった。特に、南半球の中高緯度では平均からの偏差が-5%以下となったところが多かった（図 3.2-1）。一方、赤道付近は平均よりも多かった。特に年の前半に顕著にみられ、これは成層圏でのいわゆる準 2 年周期振動の影響と考えられる。ユーラシア大陸の高緯度域では、特に 3 月から 5 月にかけて平均より多いところがあった。南半球高緯度の状況は 2.1.3 に詳しく述べる。

衛星観測にもとづく緯度 10 度ごとのオゾン全量トレンド分布を図 3.2-2 に示す。低緯度での減少傾向は小さいものの、どの緯度帯においても統計的に有意な減少傾向がみられる。減少率は高緯度ほど大きく、衛星観測から計算した北緯 60 度から南緯 60 度の平均は $-2.0 \pm 0.1\%/10$ 年で、統計的に有意な減少傾向となっている。

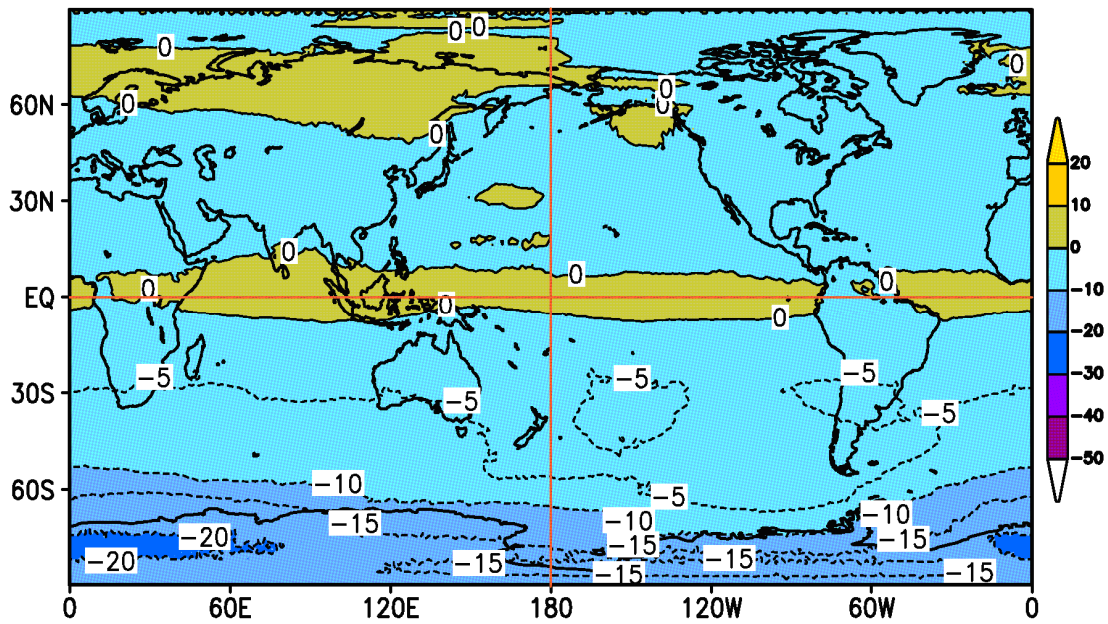


図 3.2-1 2006 年の月平均オゾン全量の平均との比の偏差 (%) の分布
 等値線間隔は 5%。参照値は 1979～1992 年の平均値。北緯 60 度以北の 1 月と 11、12 月および南緯 60 度以南の 5～7 月は、太陽高度角の関係で観測できない時期があるため省いて計算した。NASA 提供の衛星観測データから作成。

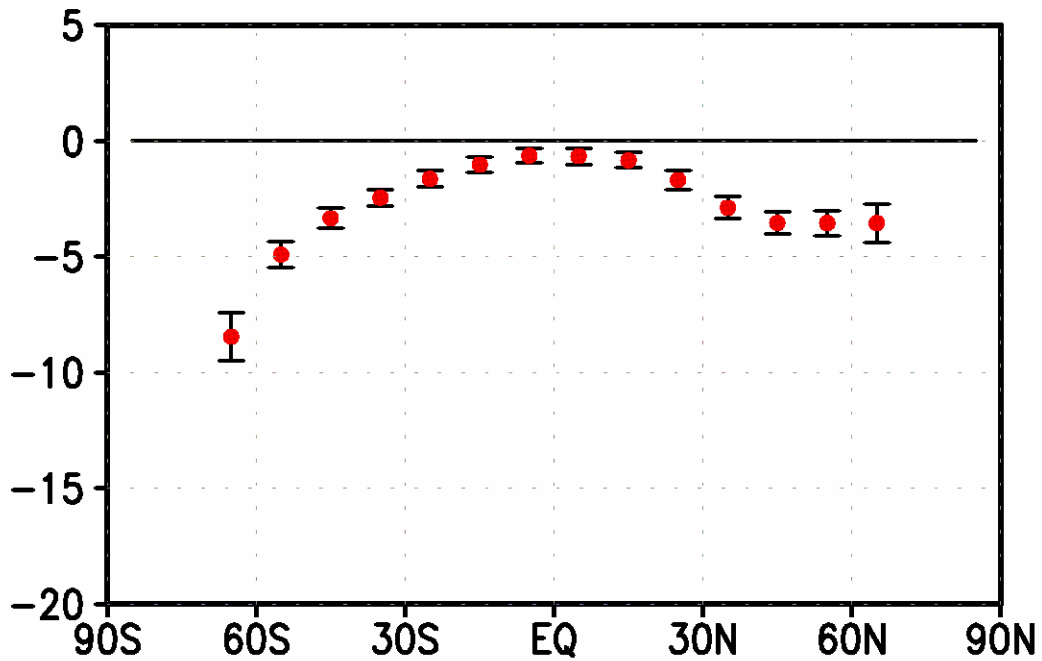


図 3.2-2 衛星データによる緯度 10 度ごとのオゾン全量トレンド (%/10 年)
 丸印は 1979～2006 年の年平均オゾン全量の緯度別トレンド (%/10 年)。EESC フィッティングを行い 1980 年代におけるトレンドを求めた。横軸は緯度、縦軸はトレンド。丸印についている縦線は 95%信頼限界の範囲。NASA 提供の衛星データから作成。

2.1.2 日本上空のオゾン層

気象庁では、1957年のつくばを最初として国内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）。図 3.2-3 に 2006 年の日本上空におけるオゾン全量の推移を示す。つくばと那覇では 8 月から 11 月にかけてオゾン全量が多いことが多く、11 月にはどちらの地点も、観測開始以来、その月としては最も多くなった。つくばでは 4 月にも過去最高値を記録した。

札幌、つくば、鹿児島、那覇のオゾン全量の年平均値の推移を図 3.2-4 に示す。日本付近のオゾン全量は主に 1980 年代を中心に減少が進み、1990 年代半ば以降はほとんど変化がないか、緩やかな増加傾向がみられる。一般にオゾンの減少は高緯度ほど大きくなる傾向があるが、この図からもその傾向がみられる。

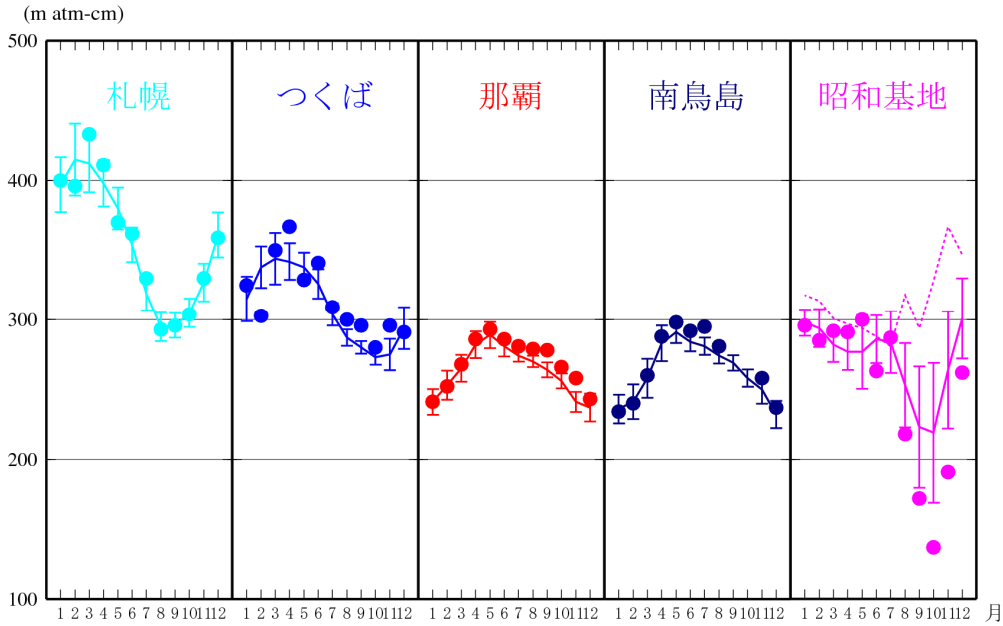


図 3.2-3 2006 年における月平均オゾン全量の推移

国内 4 地点(札幌、つくば、那覇、南鳥島)および南極昭和基地における月平均オゾン全量の推移。丸印は 2006 年の月平均値。国内 4 地点の折線は参照値。縦線はその標準偏差。ただし、参照値は、札幌、つくばでは 1971~2000 年、那覇は 1974~2000 年、南鳥島は 1994~2005 年の平均値。南鳥島の 9 月と 10 月は欠測。昭和基地の点線（参照値）は 1961~1980 年の平均値。折線は 1981~2000 年の平均値で、縦線はその標準偏差である。

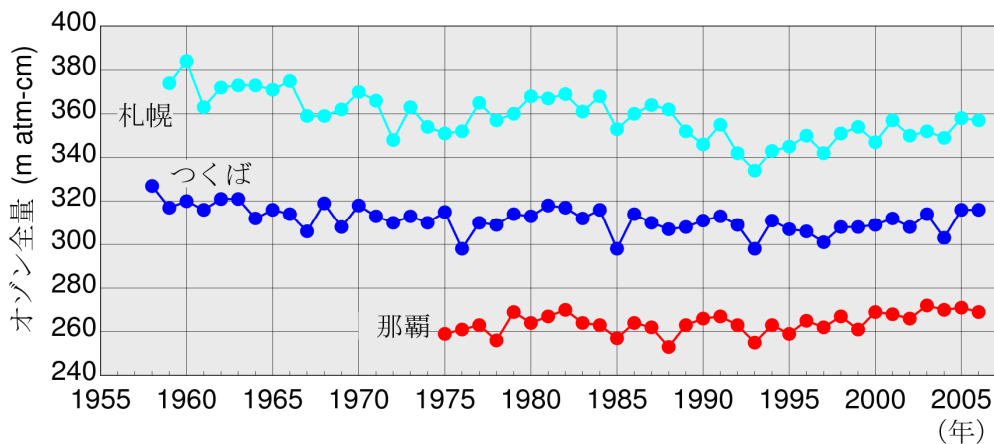


図 3.2-4 日本上空のオゾン全量の年平均値の推移

札幌、つくば、那覇におけるオゾン全量の観測開始から 2006 年までの年平均値の経年変化（既知で周期的な自然要因（季節変動など）と相関の高い変動成分を除去していない）。

2.1.3 南極域上空のオゾン層・オゾンホール

衛星観測によれば、2006年のオゾンホールは、面積、欠損量（破壊量）ともに、過去最大級に発達した。最大拡大時の面積は2000年について第2位、欠損量は2003年について第2位となった。

2006年のオゾンホールが過去最大級に発達した理由として、①成層圏のオゾン層破壊物質の量が依然として多い状況であること、②2006年の8月から9月にかけて南半球中高緯度成層圏の気温が低く、オゾンが破壊されやすい気象条件が広範囲に広がっていたこと、などが考えられる。（図3.2-5、図3.2-6）。

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。8月下旬から11月にかけて、オゾンホールの目安である220m atm-cmを下回る非常に少ないオゾン全量を観測しており、同時期における過去最低のレベルで推移した。10月17日には2006年の最低値である114m atm-cmを記録しており、これは日平均オゾン全量の過去最低値である。10月、11月の月平均オゾン全量もその月として過去最低を記録した（137m atm-cm（10月）、191m atm-cm（11月））。これは、オゾンホールの中心位置が10月以降、昭和基地側に偏っていたことが影響している。

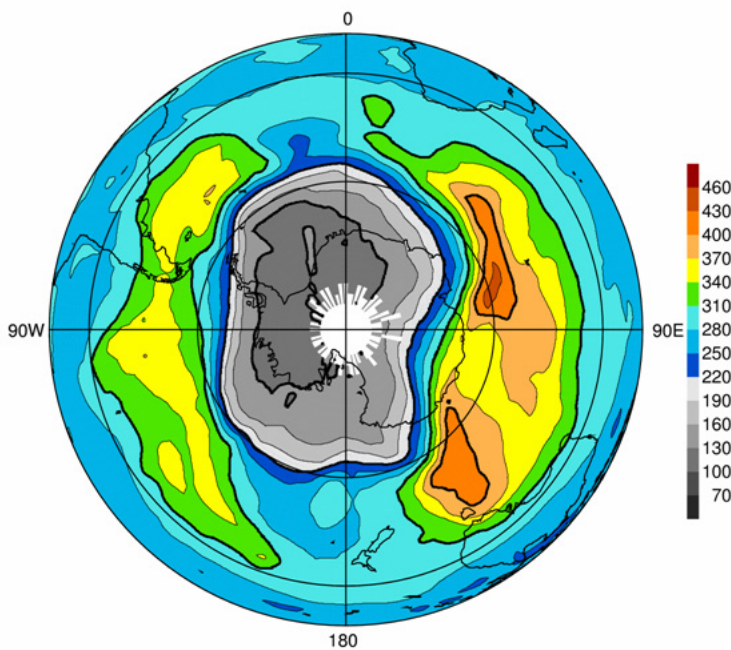


図 3.2-5 オゾンホール面積が年最大を記録した2006年9月24日のオゾン全量の南半球分布
米国航空宇宙局（NASA）提供の OMI データをもとに作成。

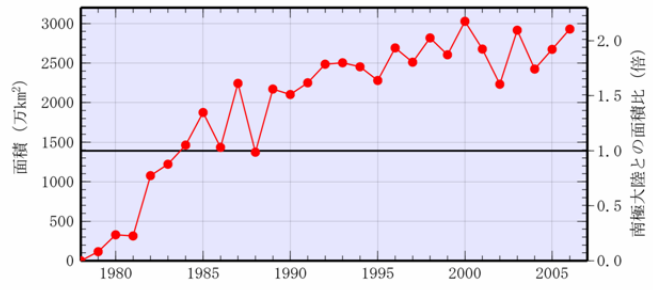
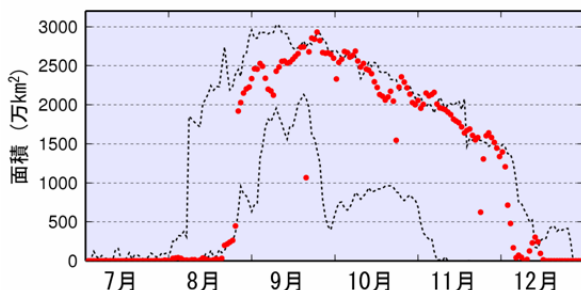


図 3.2-6 オゾンホールの面積の推移

オゾンホールの規模を示す要素の一つである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2006年の日別の値（赤丸）と過去10年（1996～2005年）の日別の最大値・最小値（破線）の推移、右図は1979年以降の年最大値の経年変化。なお、横線は南極大陸の面積を示す。米国航空宇宙局（NASA）提供の TOMS および OMI データを基に作成。

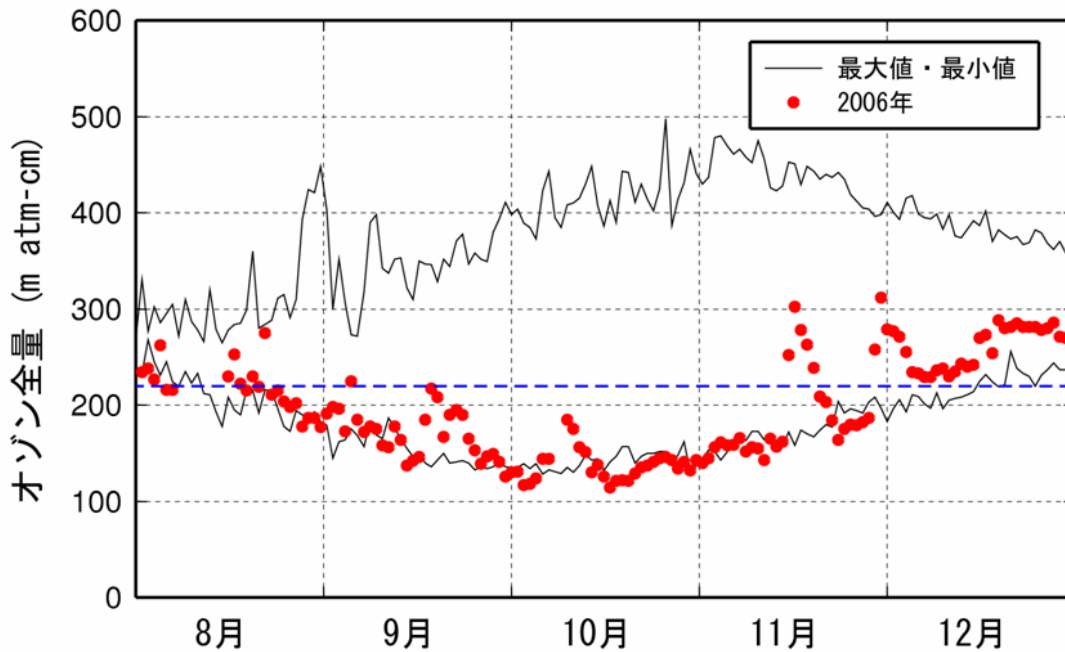


図 3.2-7 南極昭和基地における日別オゾン全量の推移 (2006 年 8 月～2006 年 12 月)

丸印は 2006 年の観測値 (日代表値)。実線は観測開始 (1961 年) 以来の最大および最小値。太い破線はオゾンホール
の目安である 220m atm-cm の値。昭和基地におけるオゾン全量観測から作成。

2.2 紫外線

オゾンは波長の短い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。そのため、気象庁では、1990 年のつくばを最初として、国内および南極昭和基地で有害紫外線の観測を実施している。

図 3.2-8 に国内 3 地点における 2006 年の毎日の最大 UV インデックスの推移を示す。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。紫外線対策の実施が奨められている UV インデックス 3 以上の値が、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。

紅斑紫外線日積算月平均値の 2006 年の状況は、札幌では、年の前半は並か少ないことが多かったが、7 月以降は多いことが多かった。つくばでは 4 月と 6 月には少なかったが、1 年を通して並であった月が多かった。那覇では 3 月に多かったが、1 年を通して並か少ないことが多かった (図 3.2-9)。これらの特徴は、主に各地点での天気の状態を反映したものとみられる。

図 3.2-10 に気象庁で観測した年積算紅斑紫外線量の推移を示す。これによれば、札幌、つくば、那覇の 3 地点で地表に到達する紫外線量は、1990 年代初めから増加傾向にあることがわかる。

一方、同期間のオゾン量は、2.1.2 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 地点での 1990 年以降の長期変化をみる限り、紫外線観測でみられる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ることはできない。

日本上空のオゾン全量は主に 1980 年代を中心に減少が進み、1990 年代以降は 1980 年以前と比べて少ない状態が続いている。このことから、現在の紅斑紫外線量は、天気の状態やエアロゾル量などに変化がなければ、1980 年以前と比較して増加しているものと推測される。オゾン全量の減少に起因する紫外線量の増加は、オゾン量の減少量が大きい札幌の場合、月により最大で 6%程度

増加しているものと推測される。また世界的にみると、南北両半球の10か所以上の地点における観測からは、1980年代前半より紫外線量が6~14%増えたことが報告されている。この増加傾向の原因としては、雲量の減少など天気傾向の変化やエアロゾル量の減少が考えられる。

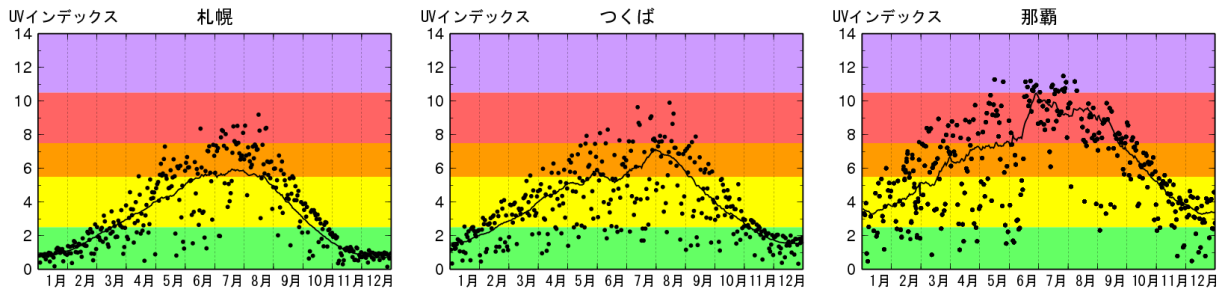


図 3.2-8 2006年の国内3地点における日最大UVインデックスの推移

丸印は国内3地点（札幌、つくば、那覇）における2006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1990~2005年、札幌および那覇は1991~2005年の平均）の15日移動平均値を示す。

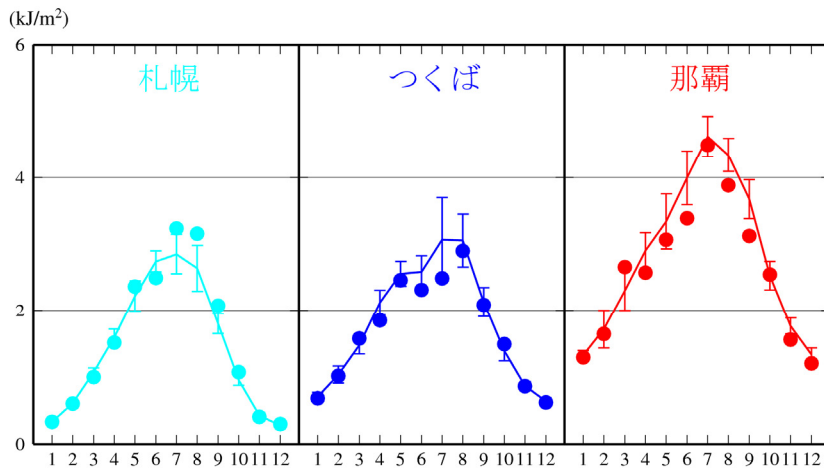


図 3.2-9 2006年における月平均紅斑紫外線日積算値の推移

国内3地点（札幌、つくば、那覇）における紅斑紫外線日積算値の月平均値の推移。丸印は2006年の月平均値。折線は参照値。縦線はその標準偏差。ただし、参照値は、札幌、那覇では1991~2005年、つくばでは1990~2005年の平均値である。

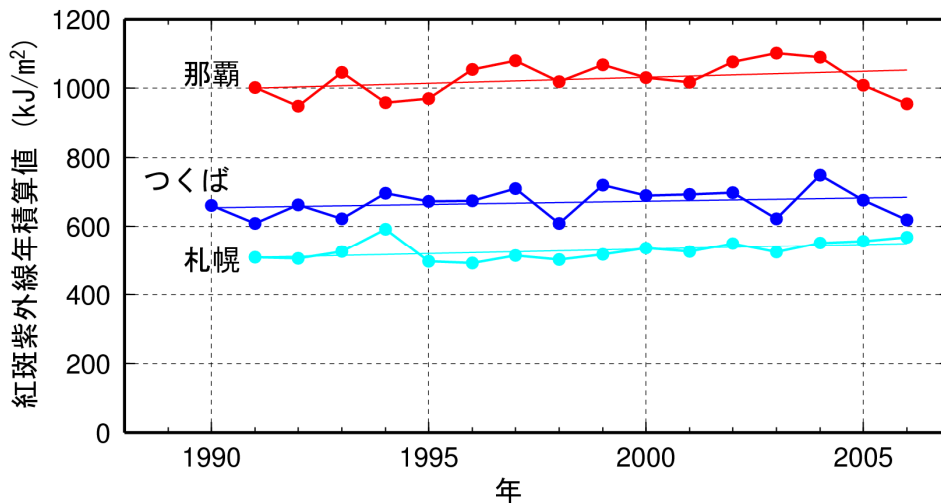


図 3.2-10 紅斑紫外線量年積算値の推移

丸印は札幌、つくば、那覇における紅斑紫外線年積算値の観測開始から2006年までの推移。直線は全期間の長期的な傾向。

紅斑紫外線量と UV インデックス (UV 指数)

太陽光に含まれる紫外線を継続的に浴びることで、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。人体に対する影響を示す紫外線量として、波長による影響度を考慮して算出した紅斑紫外線量が用いられている。UV インデックスはこの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。

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耕地の乾燥、半乾燥地帯の細かい砂塵（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るとともに、それが西風に乗って遠くまで輸送されて、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を越えてアメリカやカナダにまで到達することが知られている。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、薄くではあるが持続的に夏季にも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。黄砂粒子は日射に対して弱い吸収特性を示すため大気を加熱するが、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。このような影響の結果として、気象研究所の全球黄砂モデルによると、世界の平均では、黄砂が大気中にない場合と比較して、 $-0.3\text{W}/\text{m}^2$ という弱い冷却効果を示すとされている。

3.1.1 2006 年の黄砂現象

気象庁では、国内 98 ヶ所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 2006 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、42 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 606 日であった。4 月の黄砂観測日数は 21 日で、1 か月間の黄砂観測日数としては、2002 年 4 月の 23 日について 2 番目の記録となった。特に 4 月 8～9 日、18～19 日、24～25 日の 3 回にわたり黄砂が日本の広い範囲で観測され、東京でも 4 月 18 日、19 日に、2000 年 4 月 14 日以来 6 年ぶりに黄砂が観測されたことから、社会的にも大きな関心と呼んだ。

3.1.2 黄砂現象の年々変動

1967 年からこれまでに黄砂観測のべ日数が最も多かったのは、2002 年の 1132 日である。また、黄砂観測日数が最も多かったのも 2002 年であった。

黄砂観測のべ日数は、2000 年以降ほぼ毎年 400 日を越しており、また、黄砂観測日数も、2000 年以降ほぼ毎年 40 日を越しているように、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。

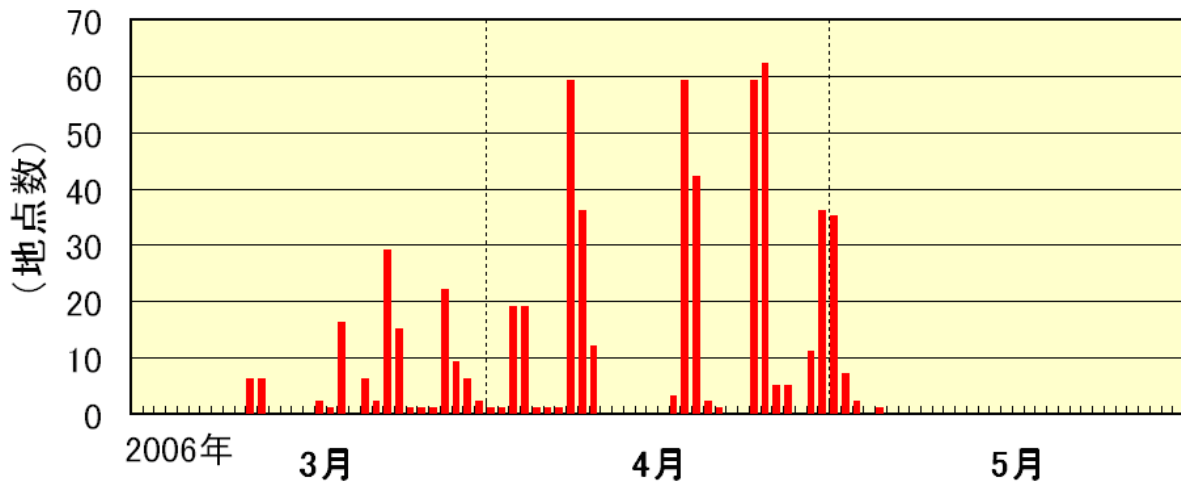


図 3.3-1 日本における 2006 年 3 月から 5 月の日別の黄砂観測地点数

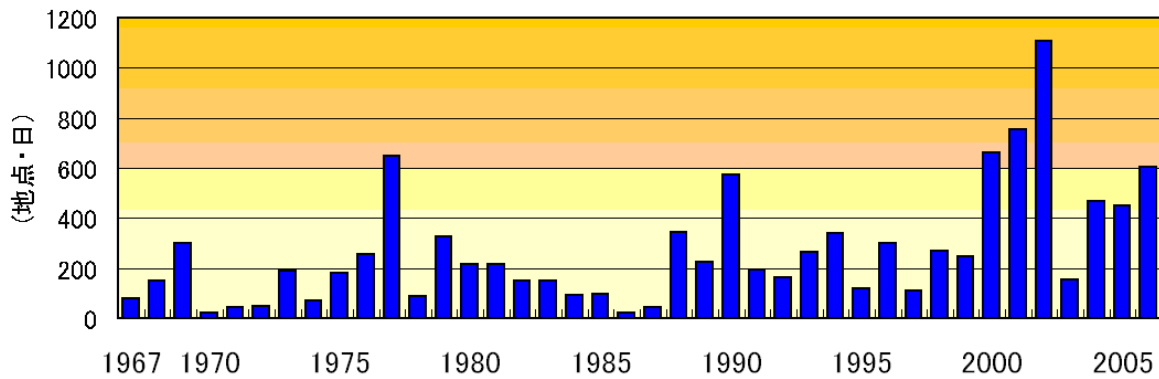


図 3.3-2 日本の年別の黄砂観測のべ日数（1967～2006 年）

2006 年 12 月 31 日現在で黄砂の目視観測を行っている国内 98 地点の記録を過去にさかのぼり集計した。

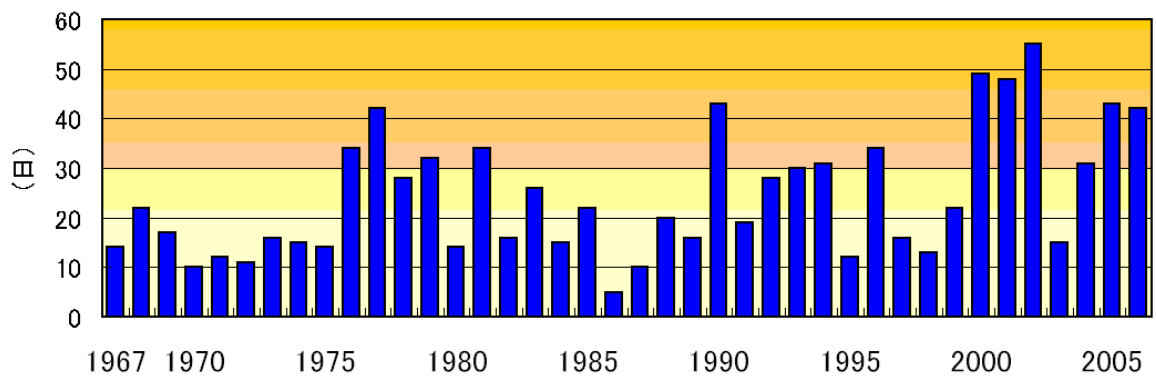


図 3.3-3 日本の年別の黄砂観測日数（1967～2006 年）

2006 年 12 月 31 日現在で黄砂の目視観測を行っている国内 98 地点の記録を過去にさかのぼり集計した。

3.2 酸性雨

酸性雨というのは、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概念である。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。大気中の主要な酸性物質は、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である。

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がある。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、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。これは、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、さらに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、2005年までの結果を記述する。

綾里（岩手県大船渡市）および南鳥島（東京都小笠原村）における降水中 pH の 2005年の年平均値は綾里が pH4.5、南鳥島が pH5.0 であった。南鳥島の pH5.0 は 1996年の観測開始以来の最低値、綾里の pH4.5 も 13年ぶりの低い値となった。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 の範囲で変動しており、観測開始からの全期間（1976年から 2005年の 30年間）を通してみると有意な長期変化傾向はみられない。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、近年急激に pH が低下している。2003年、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が、2003年5月から6月、2004年4月から2005年9月にかけて活発な噴火活動を繰り返しており、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、他機関が実施した沖縄、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ある。

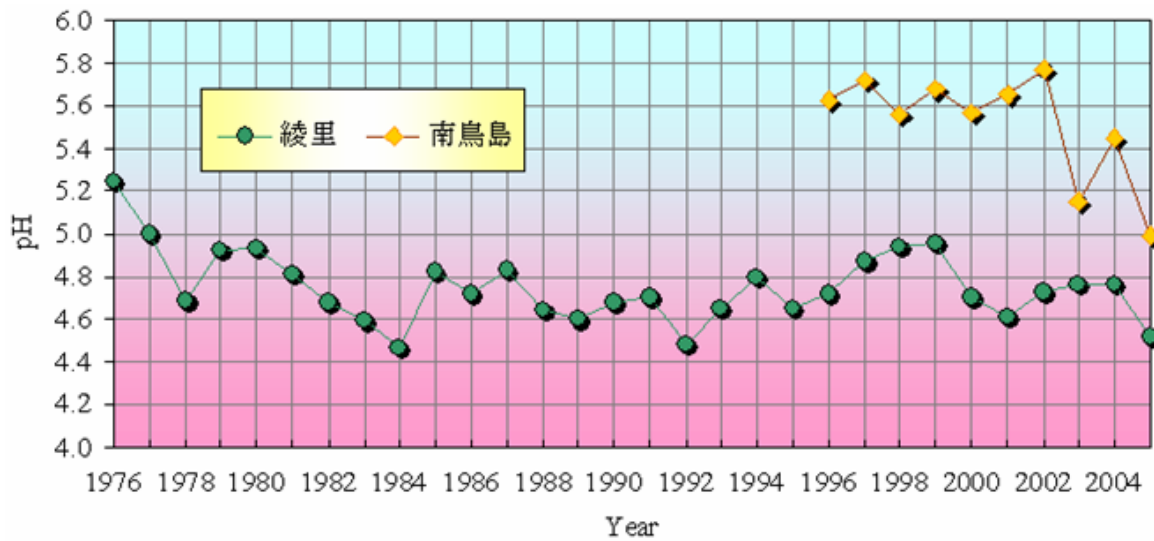


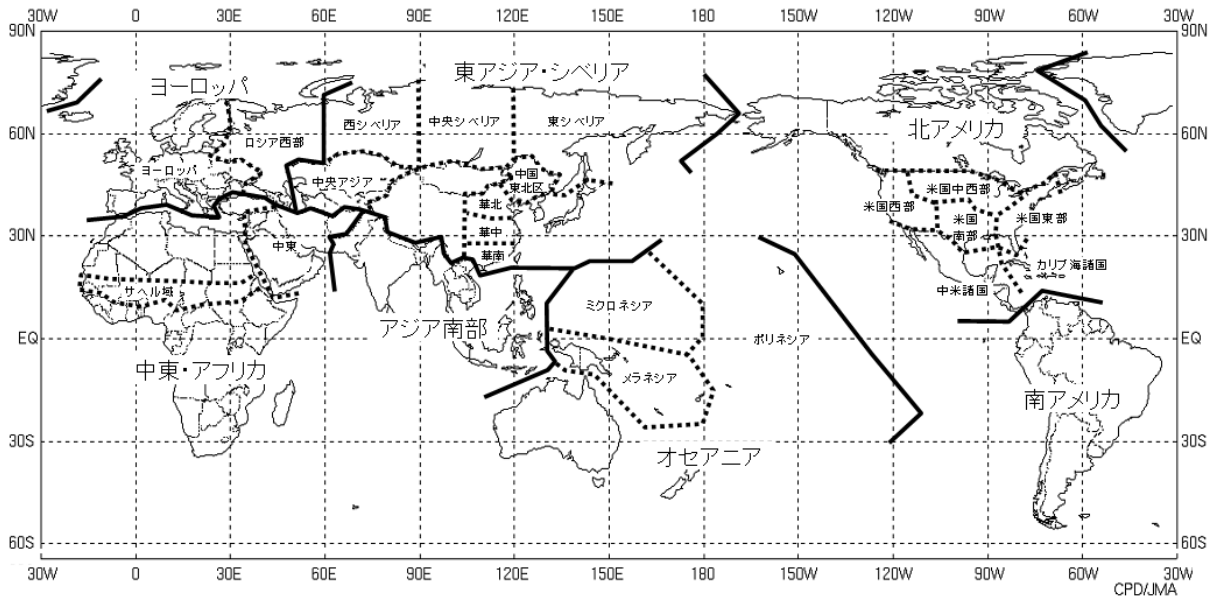
図 3-3.4 綾里（岩手県）および南鳥島における降水中 pH の経年変化

用語一覧

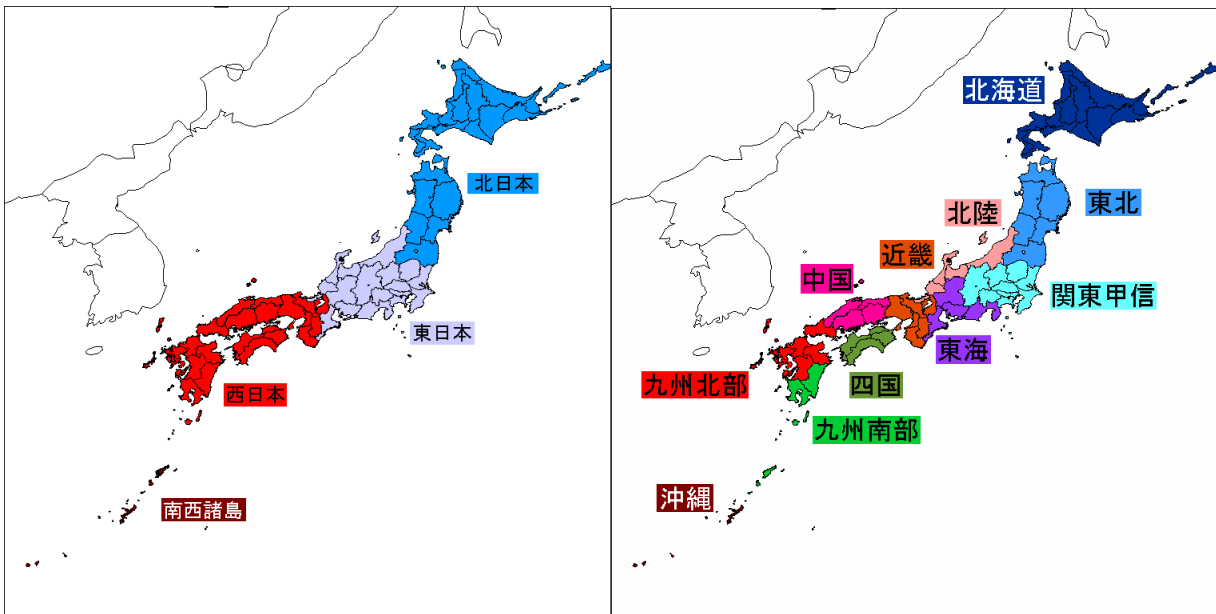
- 異常気象：** 一般に過去に経験した現象から大きく外れた現象で、人が一生の間にまれにしか経験しない現象をいう。大雨や強風等の激しい数時間の気象から数か月も続く干ばつ、冷夏などの気候の異常も含まれる。気象庁では、過去 30 年間に観測されなかったような値を観測した場合を異常気象と定義している。
- 異常高（低）温、異常多（少）雨：** 世界の天候監視においては、次の基準で気温と降水量の異常を判断する。月平均気温の平年差が平年値統計期間（1971～2000 年）の標準偏差の 2 倍以上となった場合に異常高（低）温とする。月降水量が平年値統計期間における最大値を上回る（最小値を下回る）場合に異常多（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、東部太平洋赤道域の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。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℃以上/-0.5℃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（2006 年 3 月変更）。
- 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℃の等温線の深さにほぼ相当する。
- 台風 接近：** 台風が中心が、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：** 台風が中心が、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。
- 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です。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、このように呼ばれます。(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：** 水平方向に数十～数百 km、鉛直方向には数百 m のスケールをもつ海洋中に存在する渦動。中規模渦のうち、周囲より水温が低く、北半球（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、北半球（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）。冷水渦（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 (本書では容積比)
- ppb : 10 億分の 1 (本書では容積比)
- ppt : 1 兆分の 1 (本書では容積比)
- PgC : 炭素換算でペタグラム (10^{15}g) 1 ペタグラムは 10 億トン
- μm : マイクロメートル (10^{-6}m)
- nm : ナノメートル (10^{-9}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°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。
 $1\text{m atm-cm}=2.687\times 10^{20}$ 分子数 m^{-2}
(断面積 1m^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、 2.150×10^{29} 分子数 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、
 2.150×10^{29} 分子数 $\text{m}^{-2}\times 10^{-9}/ 2.687\times 10^{20}$ 分子数 $\text{m}^{-2}=0.80$
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 : CCl_3F 、トリクロロフルオロメタン
- CFC-12 : CCl_2F_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
- CO₂ : 二酸化炭素
- HFCs : ハイドロフルオロカーボン類
- HFC-23 : 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 : CF_2HCl 、クロロジフルオロメタン
- O₃ : オゾン
- PFCs : パーフルオロカーボン類
- PFC-14 : CF_4 、パーフルオロメタン (テトラフルオロメタン)
- SF₆ : 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)
- 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)

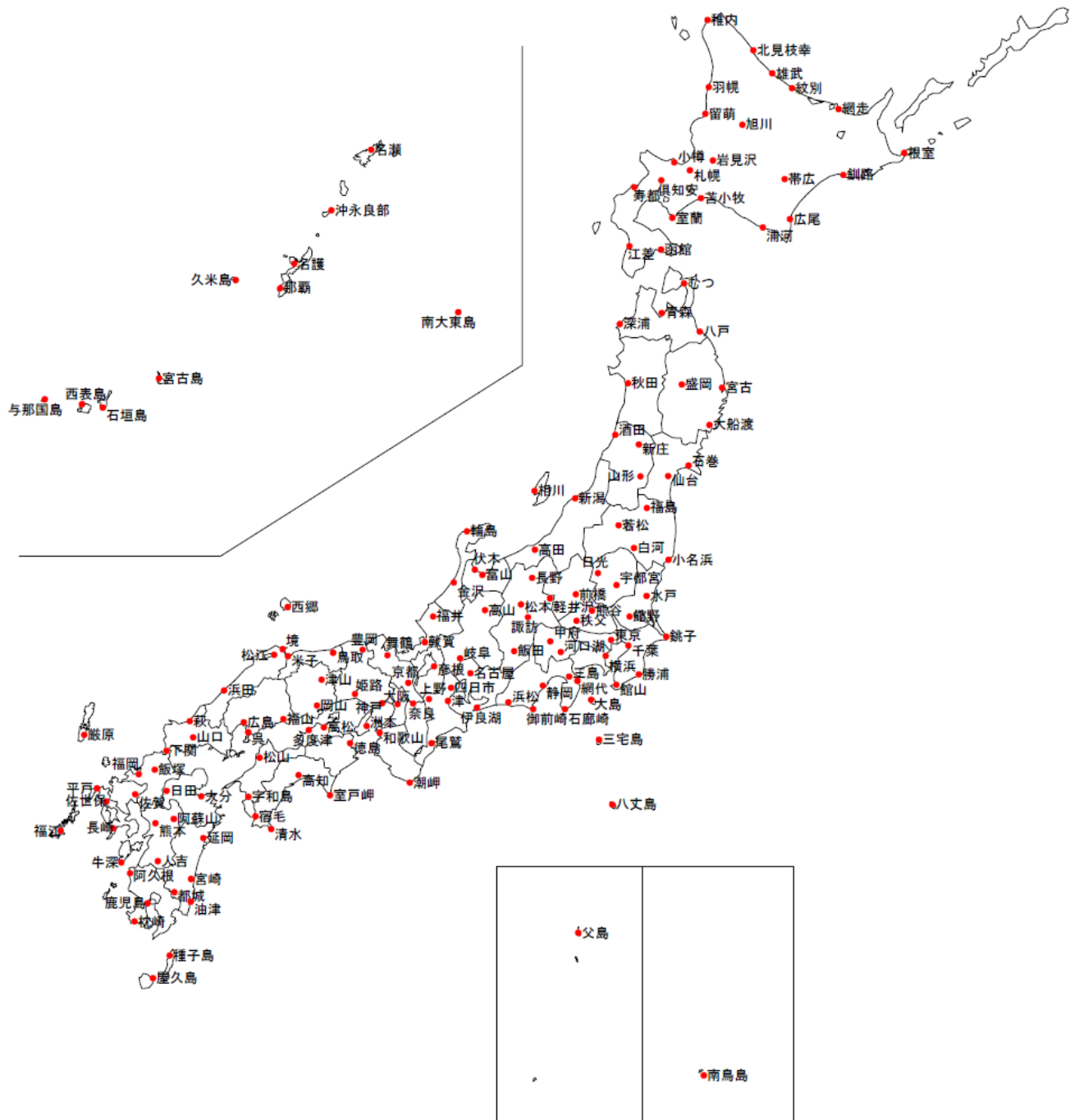
参考図



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

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 地球フロンティア研究システムモデル統合化領域特任研究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 地球フロンティア研究システムモデル統合化領域特任研究員

植松光夫 東京大学海洋研究所附属

海洋科学国際共同研究センター センター長・教授

木本昌秀 東京大学気候システム研究センター 教授

田宮兵衛 お茶の水女子大学文教育学部人文科学科 教授

林田佐智子 奈良女子大学理学部情報科学科 教授

山中康裕 北海道大学大学院地球環境科学研究科 助教授

三上岳彦 首都大学東京 教授

(敬称略)