

変化傾向の有意性の評価について

気温や降水量等の観測値は、様々な時空間スケールの大気や海洋の運動のため、大きく変動している。自然変動を背景に地球温暖化に伴う気候系の変化傾向をとらえるためには、観測データを適切な統計量に変換し、時系列で並べた統計量にランダムな変動要因だけでは説明しにくい系統的な変化傾向が含まれている可能性がどの程度か検定を行う。この「統計的検定」の結果、経年変化がランダムな変動要因だけでは説明できないと判断することが妥当な場合には、「統計的に有意な変化傾向がある」等と表現される。

本レポートでは、統計量に見られる経年変化傾向の有無の可能性について、統計的有意性を99%、95%、90%の信頼度水準で検定した結果を判断基準としており、それぞれ本文中の記述とは下表のとおり対応させている。

信頼度水準	本文中の対応する記述
99%以上で有意	「増加（減少）している（信頼度水準99%で統計的に有意）」 「上昇（下降）している（信頼度水準99%で統計的に有意）」
95%以上で有意	「増加（減少）傾向が明瞭に現れている（信頼度水準95%で統計的に有意）」 「上昇（下降）傾向が明瞭に現れている（信頼度水準95%で統計的に有意）」
90%以上で有意	「増加（減少）傾向が現れている（信頼度水準90%で統計的に有意）」 「上昇（下降）傾向が現れている（信頼度水準90%で統計的に有意）」
上記以外	「変化傾向は見られない」

なお、この統計的検定にあたっては次のような手法により検定している。

(イ) 統計量の年々変動成分が正規分布に従うことが仮定できる場合

気温偏差の場合、トレンド成分を除去した年々の統計量の出現頻度はおおむね正規分布に従うと考えることができる。正規分布とみなしてよい統計量に対しては、西暦年と累年の統計量との相関係数を用いて、t検定を行う。

(ロ) 統計量の年々変動成分が正規分布に従うことが仮定できない場合

猛暑日や熱帯夜等の階級日数、1時間降水量50mm以上等の発生頻度の統計量は正規分布に従うことが仮定できない場合があるので、これらの統計量に対しては分布に依らない検定（ノンパラメトリック検定）を行う。

統計的検定では、原理的に、「統計的に有意」と判定されてもその結果が誤りである可能性が常に存在する。「信頼度水準90%（95%、99%）以上で統計的に有意」の場合には、観測値における経年変化傾向がランダムな変動要因により出現しているにも関わらず誤って有意と判定してしまう確率をそれぞれ最大で10%（5%、1%）まで許していることを意味している。逆に、系統的な変化傾向が存在していても、それを正しく検出できない場合もある。一般に、統計年数が短い、年々の変動幅が大きい、発生頻度が稀、等の場合には、今後新しいデータが追加されることにより検定結果が変化する可能性が大きい。本レポートの分析結果は、以上の性質に留意の上で活用されたい。

用語一覧（五十音順）

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）

気候変動に関する政府間パネル。世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）により、1988年に設立された。気候変動の（1）自然科学的根拠、（2）影響・適応策及び脆弱性、（3）緩和策について、各国の科学者や専門家による評価を行い、報告書としてとりまとめている。その報告書の内容は、地球温暖化に関する条約交渉などにおいて、様々な議論に科学的根拠を与える重要な資料として利用されている。

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のこと。大雨や強風等の激しい数時間の現象から数か月も続く干ばつ、極端な冷夏・暖冬なども含む。また、気象災害も異常気象に含む場合がある。気象庁では、気温や降水量などの異常を判断する場合、原則として「ある場所（地域）・ある時期（週、月、季節等）において30年に1回以下の頻度で発生する現象」を異常気象としている。

エルニーニョ現象に関する用語

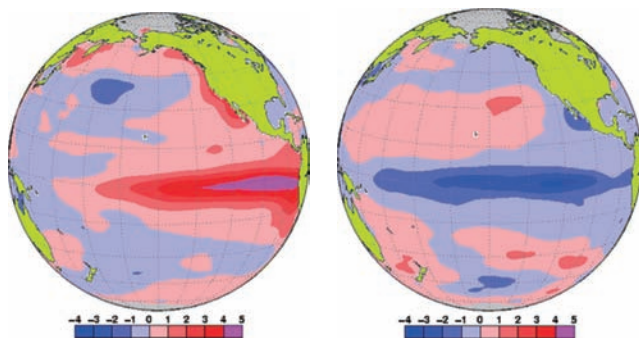
エルニーニョ／ラニーニャ現象：エルニーニョ現象は、太平洋赤道域の日付変更線付近から南米沿岸にかけて海面水温が平年より高くなり、その状態が一年程度続く現象である。逆に、同じ海域で海面水温が平年より低い状態が続く現象はラニーニャ現象と呼ばれ、いずれも数年に一度発生する。ひとたびエルニーニョ現象やラニーニャ現象が発生すると、日本を含め世界中で異常な天候が起これると考えられている。

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；図A中のNINO.3の領域）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°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。

図Bは典型的なエルニーニョ現象及びラニーニャ現象が発生している時の太平洋における海面水温の平年偏差の分布を示している。日付変更線（経度180度）の東から南米沿岸にかけての赤道沿いで、赤あるいは青の色が濃く、海面水温の平年偏差が大きくなっている。



図A エルニーニョ監視海域（NINO.3）の位置



図B エルニーニョ現象時（1997年11月）の月平均海面水温平年偏差（左）及び、ラニーニャ現象時（1988年12月）の月平均海面水温平年偏差（右）赤が平年より高く、青が平年より低く、色が濃いほど平年偏差が大きいことを表す。左の図は、1997/1998 エルニーニョ現象が最盛期にあった1997年11月における海面水温の平年偏差、右の図は1988/1989 ラニーニャ現象が最盛期であった1988年12月における海面水温の平年偏差。

南方振動：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持続的な東風（貿易風）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、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。

エアロゾル

大気中に浮遊している固体あるいは液体の微粒子。地表や海面から舞い上がるものや、工業活動によって排出される煤煙、気体（前駆物質）から生成される二次生成粒子などがある。太陽光の吸収・散乱や凝結核として雲の生成などに影響する。エアロゾルのうち、粒子の大きさ（粒径）が $2.5\mu\text{m}$ 以下と非常に小さいものを微小粒子状物質 (PM2.5) という。PM2.5 は、髪の毛の太さの $1/30$ 程度と非常に小さいため、吸引による健康への影響が懸念されている。

オゾン層に関する用語

オゾン全量：地表から大気圏上端までの気柱に含まれる全てのオゾンを積算した量。仮に大気中のオゾンを全て 1 気圧、 0°C として地表に集めたときに、オゾンだけからなる層の厚みをセンチメートル単位で測り、この数値を 1000 倍したもので、単位は $\text{m atm}\cdot\text{cm}$ （ミリアトムセンチメートル）又は DU (Dobson Unit：ドブソン単位) である。地球全体の平均的なオゾン全量は約 $300 \text{ m atm}\cdot\text{cm}$ で、これは地表で約 3 mm の厚さに相当する。

オゾン層破壊物質：成層圏オゾンを破壊する物質であり、通常、「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物質を指す。主要なものとして、クロロフルオロカーボン類 (CFC-11、CFC-12、CFC-113 など。これを日本では一般に「フロン」と呼ぶ場合がある)、四塩化炭素、ハイドロクロロフルオロカーボン類 (HCFCs)、1,1,1-トリクロロエタン、塩化メチル、ハロン類、臭化メチルなどがある。また、これらのオゾン層破壊物質は温室効果ガスでもある。

オゾンホール：南極上空のオゾン量が極端に少なくなる現象で、オゾン層に穴のあいたような状態であることからその名が付けられた。南半球の冬季から春季にあたる 8~9 月頃発生、急速に発達し、11~12 月頃に消滅するという季節変動をする。1980 年代初めからこのような現象が観測されている。なお、オゾンホール面積は、南緯 45 度以南におけるオゾン全量が 220DU 以下の領域面積として算出している。

モントリオール議定書：オゾン層を破壊するおそれのある物質を特定し、当該物質の生産や消費の規制とそのスケジュールを規定するために 1987 年にカナダで採択され 1989 年に発効した国際条約。我が国は 1988 年に締結した。採択後もオゾン層の破壊状況について各国で検討を行い、規制措置の強化のための改正がなされた。正式名称は「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」。

温室効果に関する用語

温室効果：地球の大気には二酸化炭素などの温室効果ガスと呼ばれる気体がわずかに含まれている。これらの気体は赤外線を吸収し、再び放出する性質があるため、太陽からの光で暖められた地球の表面から熱放射として放出された赤外線の多くが、大気に吸収され、再び射出された赤外線が地球の表面に吸収される。これらの過程により、地表面及び地表面付近の大気を暖めることを温室効果と呼ぶ。仮に温室効果が無い場合の地球の表面の温度は -19°C と見積もられているが、温室効果のために世界の平均気温はおおよそ 14°C と推定される。大気中の温室効果ガスが増えると温室効果

が強まり、地球の表面の気温が高くなる。代表的な温室効果ガスには、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素などがある。なお、水蒸気は最も大きな温室効果を持つが、地球温暖化問題を議論する際には一般的に人為起源温室効果ガスとは区別して扱う。

二酸化炭素：地球温暖化に及ぼす影響が最も大きな温室効果ガス。工業化時代の始まり（18世紀半ば）以降、人間活動に伴う化石燃料の消費、森林減少などの土地利用の変化、セメント生産などによる二酸化炭素の排出により大気中の濃度が増加しつつある。工業化以降に人間活動によって排出された二酸化炭素量のおよそ半分が大気中に残留しており、残りは大気から取り除かれ、海洋や陸域生態系に蓄積されている（IPCC, 2013）。

メタン：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る。大気中に放出されるメタンのおよそ40%は自然起源（湿地やシロアリなど）であり、人間活動（反芻動物、稲作、化石燃料採掘、埋め立て、バイオマス燃焼など）によるものはおよそ60%である（WMO, 2016）。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。

一酸化二窒素：1分子あたりの温室効果が二酸化炭素の約300倍と大きく、対流圏では極めて安定しているため大気中の寿命が121年と長い気体である。大気中への放出は海洋や土壌などの自然起源のものと、窒素肥料の使用や工業活動などによる人為起源のものがあり、これらは成層圏において主に太陽紫外線により分解されて消滅する。

ppm, ppb, ppt：ここでは物質の相対濃度（体積比）を示す。ppm (parts per million) は 10^{-6} （大気分子100万個中に1個）、ppb (parts per billion) は 10^{-9} （大気分子10億個中に1個）、ppt (parts per trillion) は 10^{-12} （大気分子1兆個中に1個）。

海洋観測に関する用語

黒潮国際共同調査 (GSK)：ユネスコ政府間海洋学委員会 (UNESCO/IOC) の決議に基づいて、1965年から4か年計画で、日本、米国、ソ連など10か国が参加した総合的な調査研究。この調査においては、各層の水温、塩分、酸素量などの各種物理・化学的測定、プランクトン、基礎生産力などの生物測定が実施され、黒潮の起源、前線、水塊の交換、プランクトンの分布などの海洋物理学的及び水産海洋学的研究、大気・海洋の相互作用、高層気象などの研究が行われた。

世界海洋循環実験 (WOCE)：世界気候研究計画 (WCRP) の下で、1990年から13年間にわたって実施された調査。その目的は、気候変動における海洋循環の役割に関する知見及び気候変動の予測モデルに役立つデータを収集すること。海面から海底まで、大洋の岸から岸まで、海水の物理量や化学物質・栄養塩類などが精度よく計測された。

WOCE 再観測：世界海洋循環実験 (WOCE) を引き継ぎ、気候とその予測可能性研究計画 (CLIVAR) に組み込まれた海洋観測プログラム。

全球海洋各層観測調査プログラム (GO-SHIP)：船舶による高精度観測を行い、アルゴフロートでは測定不可能な海洋深層 (2000m 以深) も含めた全海洋の熱、淡水、炭素等の循環や海洋生態系の変化を捉えることを目的とした国際的な気候観測プログラム。WOCE 再観測を通じて、その観測の国際的な調整、さらには観測方法、データ精度の標準化を行っている。

北太平洋亜熱帯モード水 (NPSTMW; North Pacific Subtropical Mode Water)：黒潮続流南側の亜熱帯循環北西部海域において形成される冬季の深い混合層の水が海洋内部に沈みこむことで形成された等温層として定義される。137度定線においては、 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ の100~400m 深にみられる $16\sim 18^{\circ}\text{C}$ の等温層がこれにあたる。

北太平洋回帰線水 (NPTW; North Pacific Tropical Water)：北太平洋中央部の北回帰線周辺海域において、冬季に海面からの活発な蒸発にともなって形成される高塩分水。137度定線においては、 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ の150m 深を中心に塩分34.9以上の領域がこれにあたる。

北太平洋中層水 (NPIW; North Pacific Intermediate Water)：本州東方において、黒潮系の海

水と親潮系の海水が混合することで形成される中層塩分極小で特徴付けられる水。137 度定線においては、20°～30°N の 800m 深を中心に塩分 34.0 以下の領域がこれにあたる。

気候変動

ある地点や地域の気候が変わること。ある時間規模から見て一方向に変化することを「気候変化」、可逆な変化を「気候変動」として区別することもある。地球の気候システムの内部変動に起因する数年規模の変動から、外部強制力による数万年以上の規模の変動までを含む。

極端現象

気候的な平均状態から大きく離れた現象。異常気象は 30 年に 1 回以下の発生頻度の現象を指すが、極端現象はこれより発生頻度が大きい現象も含む。台風のように年に複数回起こる現象でも気象災害を起こしたり、社会経済に大きな影響を及ぼすことから、統計上の発生頻度に関わらず極端現象と呼ぶ。

黄砂

中国大陸を発生源とする土壌粒子エアロゾルがもたらす現象。アジア域の砂漠地帯（ゴビ砂漠、タクラマカン砂漠）や黄土高原などから舞い上げられた砂塵が、上空の強い風によって東方へ輸送され、徐々に降下する現象。日本における黄砂現象は、春先から初夏にかけて観測されることが多く、空が黄褐色に煙ることにより、一般にもよく知られた現象である。現象が著しいときは、視程の悪化により交通機関へ影響を与える場合がある。

紅斑（こうはん）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。

人為起源

ある現象の原因のうち、人間活動に帰せられるもの。気候変動の場合、気候システムの内部変動等は自然起源であるのに対して、人間活動に伴う温室効果ガスやエアロゾル等の排出に起因する変動について人為起源と呼ぶ。

長期変化傾向

年々の値から短周期の変動を取り除いた際の変化の方向、又はその量。10 年や 100 年あたりの変化量として表すことが多い。

平年値

その地点での気候を表す値で、その時々々の気象（気温、降水量、日照時間など）や天候（冷夏、暖冬、少雨、多雨）を評価する基準として利用される。気象庁では 30 年間の平均値を用い（現在は 1981～2010 年の平均）、西暦年の 1 位の数字が 1 になる 10 年ごとに更新している。

北極振動

高緯度域と中緯度域における海面気圧が、シーソーのように一方が高いと一方が低くなる現象である。北極地方の海面気圧が平年より高く、中緯度帯の気圧が平年より低い場合を「負の北極振動」と呼び、北極地方から中緯度に向かって寒気が流れ込みやすくなる。逆に、北極地方の気圧が平年より低く、中緯度帯の気圧が平年より高い場合を「正の北極振動」と呼び、中緯度への寒気の南下が弱くなる。

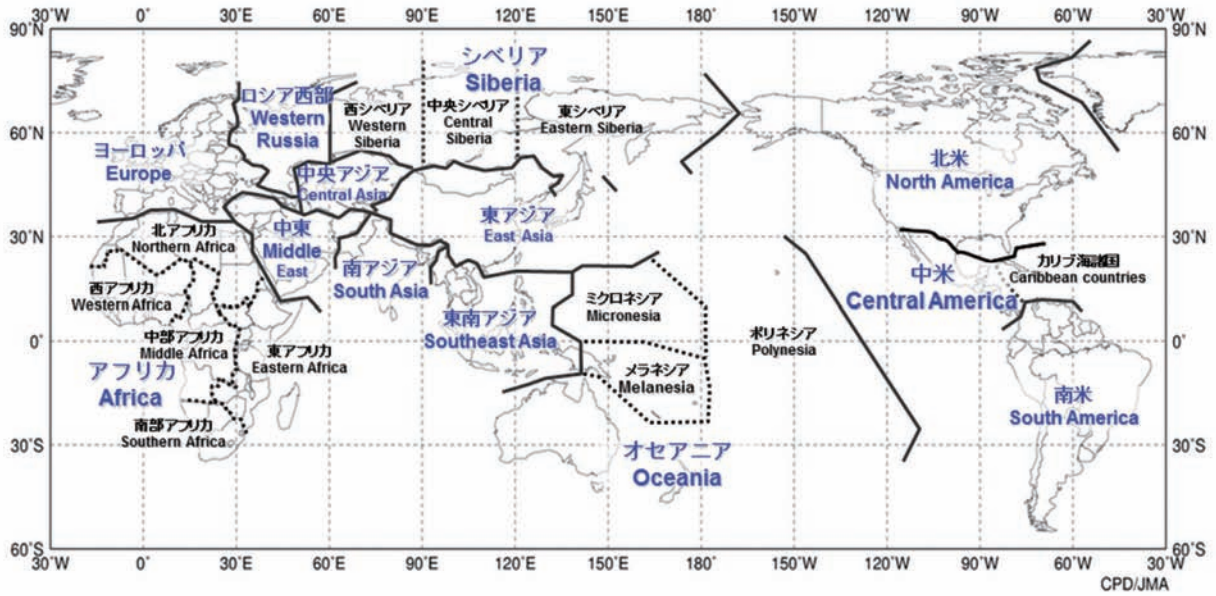
モンスーン

季節風（季節的に交替する卓越風系）を意味し、広い意味では、この季節風に伴う雨の変化（雨季・乾季）も含めてモンスーンと定義される。季節風が卓越する地域はモンスーン気候帯と呼ばれ、アジア大陸からオーストラリア北部にかけては最も典型的なモンスーン気候帯である。

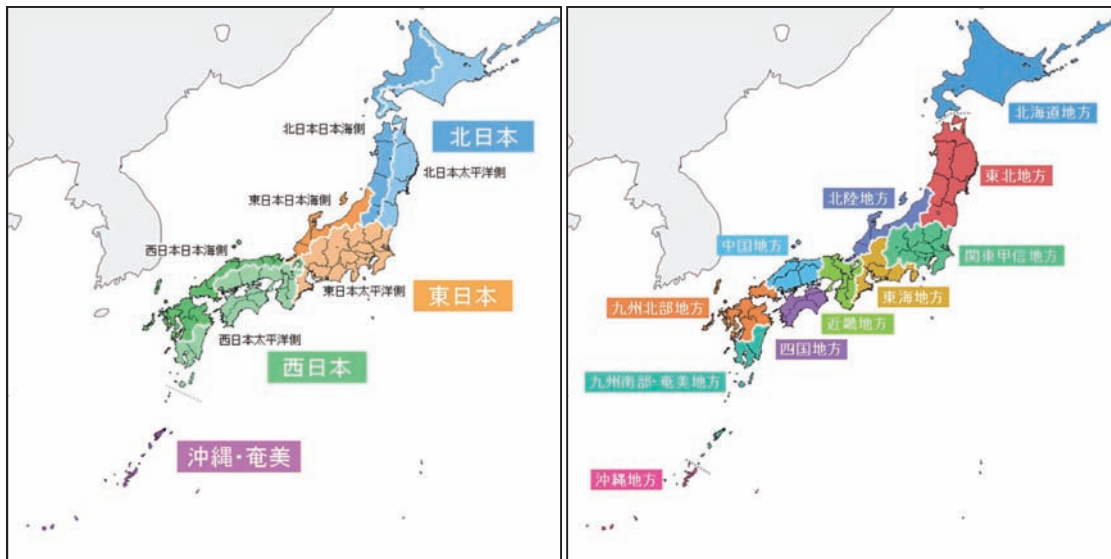
これらのほか、用語については気象庁ホームページの予報用語一覧も参考のこと。

(http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/mokuji.html)

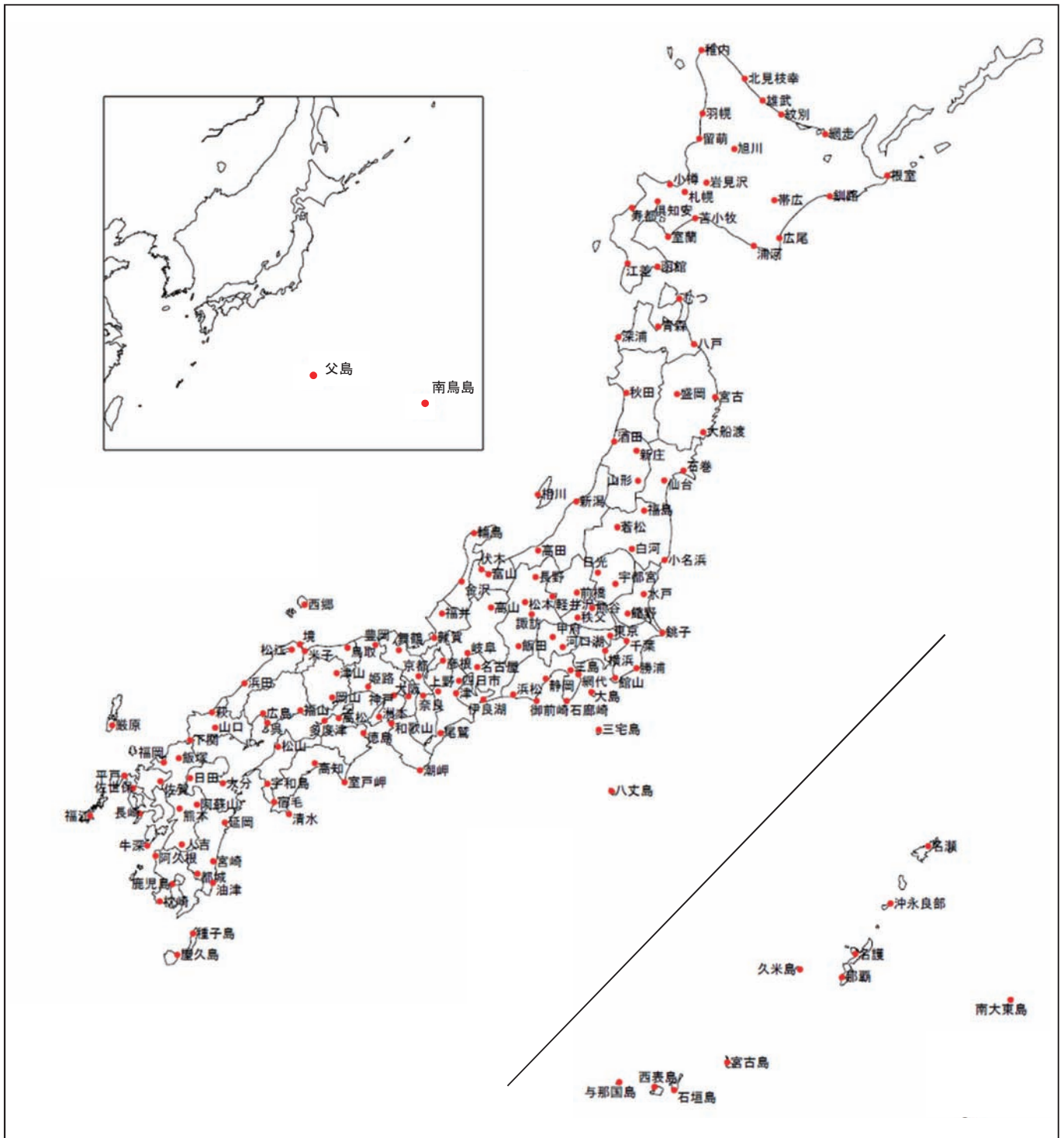
参考図



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

参考文献

【トピックス】

- Iida, Y., A. Kojima, Y. Takatani, T. Nakano, T. Midorikawa, M. Ishii, 2015: Trends in $p\text{CO}_2$ and sea-air CO_2 flux over the global open oceans for the last two decades. *J. Oceanogr.* doi:10.1007/s10872-015-0306-4.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Keeling, C. D., T. P. Whorf, M. Wahlen and J. van der Plicht, 1995: Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980. *Nature*, 375, 666–670.
- Keeling, R. F., S. C. Piper, and M. Heinmann, 1996: Global and hemispheric CO_2 sinks deduced from changes in atmospheric O_2 concentration. *Nature*, 381: 218-221.
- Le Quéré, C., R. M. Andrew, J. G. Canadell, S. Sitch, J. I. Korsbakken, G. P. Peters, A. C. Manning, T. A. Boden, P. P. Tans, R. A. Houghton, R. F. Keeling, S. Alin, O.D. Andrews, P. Anthoni, L. Barbero, L. Bopp, F. Chevallier, L. P. Chini, P. Ciais, K. Currie, C. Delire, S.C. Doney, P. Friedlingstein, T. Gkritzalis, I. Harris, J. Hauck, V. Haverd, M. Hoppema, K. Klein Goldewijk, A. K. Jain, E. Kato, A. Körtzinger, P. Landschützer, N. Lefèvre, A. Lenton, S. Lienert, D. Lombardozzi, J. R. Melton, N. Metzl, F. Millero, P. M. S. Monteiro, D. R. Munro, J. E. M. S. Nabel, S. Nakaoka, K. O'Brien, A. Olsen, A. M. Omar, T. Ono, D. Pierrot, B. Poulter, C. Rödenbeck, J. Salisbury, U. Schuster, J. Schwinger, R. Séférian, I. Skjelvan, B. D. Stocker, A. J. Sutton, T. Takahashi, H. Tian, B. Tilbrook, I. T. van der Laan-Luijkx, G. R. van der Werf, N. Viovy, A. P. Walker, A. Wiltshire, and S. Zaehle, 2016: Global Carbon Budget 2016, *Earth Syst. Sci. Data*, 8, 605-649, doi:10.5194/essd-8-605-2016.
- Rayner, P. J., I. G. Enting, R. J. Francey, and R. Langenfelds, 1999: Reconstructing the recent carbon cycle from atmospheric CO_2 , $\delta^{13}\text{C}$ and O_2/N_2 observations. *Tellus*, 51B, 213-232.
- WMO, 2016: WMO Greenhouse Gas Bulletin, 12.
(英語版) <https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/GHGbulletin.html>
(日本語訳) http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/info/wdcgg/wdcgg_bulletin.html

【第1章】

- EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster, Database – www.emdat.be – Université Catholique de Louvain – Brussels – Belgium (米国国際開発庁海外災害援助局とルーベンカトリック大学災害疫学研究所 (ベルギー) の災害データベース)
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

【第2章】

- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group

I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Ishii, M., A. Shouji, S. Sugimoto and T. Matsumoto, 2005: Objective Analyses of Sea-Surface Temperature and Marine Meteorological Variables for the 20th Century Using ICOADS and the KOBE Collection. *Int. J. of Climatology*, 25, 865-879.

Mantua, N. J. and S. R. Hare, 2002: The Pacific Decadal Oscillation. *J. Oceanogr.*, 58, 35–44, doi: 10.1023/A:1015820616384.

Trenberth, K. E., J. M. Caron, D. P. Stepaniak and S. Worley, 2002: The evolution of El Niño–Southern Oscillation and global atmospheric surface temperatures, *J. Geophys. Res.*, 107, D8, doi: 10.1029/2000JD000298.

気象庁, 2011: 衛星データによる積雪域解析. 気候系監視資料 2010.

【第3章】

Dettinger, M. D. and M. Ghil, 1998: Seasonal and interannual variations of atmospheric CO₂ and climate. *Tellus*, 50B, 1–24.

Doney, S. C., V. J. Fabry, R. A. Feely and J. A. Kleypas, 2009: Ocean acidification: The other CO₂ problem, *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 1, 169–192, doi:10.1146/annurev.marine.010908.163834.

Iida, Y., A. Kojima, Y. Takatani, T. Nakano, T. Midorikawa, M. Ishii, 2015: Trends in pCO₂ and sea-air CO₂ flux over the global open oceans for the last two decades. *J. Oceanogr.* doi:10.1007/s10872-015-0306-4.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Keeling, C. D., S. C. Piper and M. Heimann, 1989: A three-dimensional model of atmospheric CO₂ transport based on observed winds: 4. Mean annual gradients and interannual variations. *AGU Monograph*, 55, Washington, American Geophysical Union, 305–363.

Keeling, C. D., T. P. Whorf, M. Wahlen and J. van der Plicht, 1995: Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980. *Nature*, 375, 666–670.

Kudo, R., A. Uchiyama, O. Ijima, N. Ohkawara, and S. Ohta, 2012: Aerosol impact on the brightening in Japan. *J. Geophys. Res.*, 117(D07208), doi:10.1029/2011JD017158.

Machida, T., H. Matsueda, Y. Sawa, Y. Nakagawa, K. Hirokuni, N. Kondo, K. Goto, T. Nakazawa, K. Ishikawa and T. Ogawa, 2008: Worldwide measurements of atmospheric CO₂ and other trace gas species using commercial airlines. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 25(10), 1744-1754, doi:10.1175/2008JTECHA1082.1.

Matsueda, H., T. Machida, Y. Sawa and Y. Niwa, 2015: Long-term change of CO₂ latitudinal distribution in the upper troposphere. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 2508–2514, doi:10.1002/2014GL062768.

Niwa, Y., K. Tsuboi, H. Matsueda, Y. Sawa, T. Machida, M. Nakamura, T. Kawasato, K. Saito, S. Takatsuji, K. Tsuji, H. Nishi, K. Dehara, Y. Baba, D. Kuboike, S. Iwatsubo, H. Ohmori, Y. Hanamiya, 2014: Seasonal Variations of CO₂, CH₄, N₂O and CO in the Mid-Troposphere over the Western North Pacific Observed Using a C-130H Cargo Aircraft. *J. Meteorol. Soc. Japan*,

- 92(1), 50-70, doi:10.2151/jmsj.2014-104.
- Norris, J. R., and M. Wild, 2009: Trends in aerosol radiative effects over China and Japan inferred from observed cloud cover, solar “dimming,” and solar “brightening,”. *J. Geophys. Res.*, 114(D00D15), doi:10.1029/2008JD011378.
- Ohmura, A., 2009: Observed decadal variations in surface solar radiation and their causes. *J. Geophys. Res.*, 114(D00D05), doi: 10.1029/2008JD011290.
- Raven, J., K. Caldeira, H. Elderfield, O. Hoegh-Guldberg, P.S. Liss, U. Reisbell, J. Shepard, C. Turley and A.J. Watson, 2005: Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide. Policy Document 12/05. The Royal Society, London, UK, 60 pp.
- Saito, T., X. Fang, A. Stohl, Y. Yokouchi, J. Zeng, Y. Fukuyama, and H. Mukai, 2015: Extraordinary halocarbon emissions initiated by the 2011 Tohoku earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, 42, doi:10.1002/2014GL062814.
- Sawa, Y., T. Machida, and H. Matsueda, 2012: Aircraft observation of the seasonal variation in the transport of CO₂ in the upper atmosphere. *J. Geophys. Res.*, 117(D05305), doi: 10.1029/2011JD016933.
- Tsuboi, K., H. Matsueda, Y. Sawa, Y. Niwa, M. Nakamura, D. Kuboike, K. Saito, H. Ohmori, S. Iwatsubo, H. Nishi, Y. Hanamiya, K. Tsuji and Y. Baba, 2013: Evaluation of a new JMA aircraft flask sampling system and laboratory trace gas analysis system. *Atmos. Meas. Tech.*, 6, 1257–1270, doi:10.5194/amt-6-1257-2013.
- UNEP, 2015: Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2014 assessment. 236 pp.
- WCRP, 2010: Summary Report from the Eleventh Baseline Surface Radiation Network (BSRN) Scientific Review and Workshop. WCRP Informal Report No. 08/2010, 21pp.
- Wild, M., 2009: Global dimming and brightening: A review. *J. Geophys. Res.*, 114(D00D16), doi:10.1029/2008JD011470.
- Wild, M. and A. Ohmura, 2004: BSRN longwave downward radiation measurements combined with GCMs show promise for greenhouse detection studies. *GEWEX news*, 14, 4, 20 pp.
- WMO, 2009: Technical report of global analysis method for major greenhouse gases by the World Data Center for Greenhouse Gases. GAW Report , 184, WMO/TD, 1473.
- WMO, 2014: Scientific assessment of ozone depletion: 2014. Global Ozone Research and Monitoring Project-Report, 55, 416 pp.
- WMO, 2016: WMO Greenhouse Gas Bulletin, 12.
(英語版) <https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/GHGbulletin.html>
(日本語訳) http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/info/wdcgg/wdcgg_bulletin.html
- WMO, 2017: WMO WDCGG DATA SUMMARY, WDCGG No.41, GAW Data Volume IV-Greenhouse Gases and Other Atmospheric Gases, published by the Japan Meteorological Agency in co-operation with World Meteorological Organisation, March 2017. Available at <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/pub/products/summary/sum41/sum41.pdf>.
- 気象庁, 2011: オゾン層観測報告. 2010.

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 リモート・センシング技術センター 参与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	一般財団法人	リモート・センシング技術センター	参与
	今村 隆史	国立研究開発法人	国立環境研究所	
			環境計測研究センター	センター長
	日下 博幸	国立大学法人	筑波大学	計算科学研究センター 教授
	須賀 利雄	国立大学法人	東北大学	大学院理学研究科
				地球物理学専攻長・教授
	早坂 忠裕	国立大学法人	東北大学	大学院理学研究科 教授
	渡部 雅浩	国立大学法人	東京大学	大気海洋研究所 教授

(敬称略)

地球環境・海洋に関する情報リスト

ジャンル	名称	開始年 報告頻度	概要
観測・監視	気候変動監視レポート http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/index.html	平成 8 年より 毎年	その年までの地球環境・海洋の観測・監視情報を、報道機関や政策決定者向けに横断的に提供するもの。英語版を「Climate Change Monitoring Report」として提供している。
	海洋の健康診断表 定期診断表 http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaikyou/shindan/index.html	平成 17 年より 随時	海水温、海流、波浪、潮汐などの要素に加え、地球温暖化や海洋酸性化、海洋汚染など海洋に関する環境について診断するとともに、今後の見通しに関する情報や過去のデータを提供するもの。
	オゾン層・紫外線年のまとめ http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/annualreport_o3uv.html	平成 23 年より 毎年	その年のオゾン層と紫外線についての観測・解析情報を提供するもの。
	WMO 温室効果ガス年報の和訳 http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/info/wdceg/wdceg_bulletin.html	平成 18 年より 毎年	世界の温室効果ガスの状況を示す「WMO Greenhouse Gas Bulletin」を気象庁が和訳したもの。掲載されている解析は気象庁が行っている。
予測・見解	異常気象レポート http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/climate_change/index.html	昭和 49 年より およそ 5 年毎	我が国や世界の異常気象、地球温暖化などの気候変動及びその他の地球環境の変化や現状・見通しについての気象庁の見解を示すもの。
	地球温暖化予測情報 http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/index.html	平成 8 年より およそ 3 年毎	我が国における地球温暖化予測に関する気象庁の見解を示すもの。
	海洋の健康診断表 総合診断表 http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaikyou/shindan/sougou/index.html	平成 18 年より およそ 10 年毎	気候変動に加え、気候より短い時間スケールの現象、海洋汚染、診断項目に関する過去文献のレビューや海洋に関する基礎知識を提供するもの。
	オゾン層破壊の 科学アセスメント： 総括要旨の和訳 http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/9-0kankou.html	平成 24 年より およそ 4 年毎	オゾン層に関する WMO の見解を示すもの。気象庁のオゾン層についての見解は、このアセスメントに沿っている。
	温暖化の観測・予測 及び影響評価統合レポート http://www.env.go.jp/earth/ondanka/knowledge.html	平成 21 年より 随時	日本を対象とした気候変動の観測・予測・影響評価に関する知見を示すもの。
	ヒートアイランド監視報告 http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/	平成 16 年より 毎年	ヒートアイランド対策大綱に基づき、ヒートアイランドについての観測・監視・予測情報を体系的に提供するもの。