

第2章 観測:大気と地表面

概要

大気と地表面の観測から得られる気候変動の証拠は近年著しく増えている。しかし同時に、不確実性の特徴付けと定量化の方法も新たに改善された結果、長期にわたる世界及び地域の利用可能な品質をもつデータ記録を作成するうえでまだ残されている課題が強調されるようになってきた。現在、大気と地表面の観測から以下のような変化が示されている。

大気の組成

京都議定書で削減対象に指定されたよく混合された温室効果ガス^[訳注 1](GHGs)の大気負荷^[訳注 2]が、2005年から2011年にかけて増加したことは確実である。大気中の二酸化炭素(CO₂)の存在量は2011年には390.5(390.3~390.7)¹ ppmだった。この数値は1750年よりも40%増加している。大気中の一酸化二窒素(N₂O)は2011年に324.2(324.0~324.4) ppbで、1750年以降20%増加している。二酸化炭素と一酸化二窒素の2005年から2011年における年平均増加量と同程度である。大気中のメタン(CH₄)の量は、2011年には1803.2(1801.2~1805.2) ppbであり、1750年以前よりも150%増加していた。メタンは、1999年から2006年にかけてほぼ一定にとどまっていた後、2007年に増加し始めた。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)、及び六フッ化硫黄(SF₆)は、全て比較的急速に増え続けているが、これらの放射強制力への寄与は、よく混合された温室効果ガスによる寄与の合計の1%に満たない。{2.2.1.1}

オゾン破壊物質(モントリオール議定書の規制対象気体)については、主要なクロロフルオロカーボン類(CFCs)の世界平均存在量が減少し、ハイドロクロロフルオロカーボン類(HCFCs)が増加していることは確実である。2005年以降、主要なクロロフルオロカーボン類と一部のハロン類の大気負荷は減少している。クロロフルオロカーボン類の過渡的代替物質であるハイドロクロロフルオロカーボン類は増加し続けているが、排出の空間分布は変化している。{2.2.1.2}

成層圏水蒸気の変化傾向については、変動性が大きくデータ記録は比較的短いために、**確信度²は低い**。ほと

んど地球全体をカバーした成層圏の水蒸気の衛星測定は、1992~2011年においてかなり変動はあるが小さな正味の変化を示している。{2.2.2.1}

地球全体の成層圏オゾンが1980年以前の値から減少していることは**確実**である。減少の大部分は1990年代中頃以前に起こっており、それ以降オゾンは、1964~1980年の濃度を約3.5%下回る値でほぼ一定を保っている。{2.2.2.2}

1970年代以降、北半球の対流圏オゾンが大規模に増加していることの**確信度は中程度**である。南半球におけるオゾンの変化については、測定値が限られているため、**確信度は低い**。2000年以降、北アメリカ東部と西ヨーロッパにおける地上オゾンの変化は横ばい又は減少傾向にあり、1990年代以降、東アジアにおける地上オゾンは大きく増加した**可能性が高い**³。オゾン前駆物質である窒素酸化物、一酸化炭素及び非メタン揮発性有機炭素に関する衛星及び地上観測結果では、変化傾向に大きな地域差が示されている。中でも注目すべきは、1990年代中頃以降、二酸化窒素がヨーロッパと北アメリカで30~50%減少し、アジアで2倍以上増加した**可能性が高い**ことである。{2.2.2.3、2.2.2.4}

1990年代中頃以降、ヨーロッパと米国東部でエロゾル全量が減少し、2000年以降アジアの東部及び南部で増加した**可能性が非常に高い**。このようなエロゾルの地域パターンの変化は、大気のエロゾルの総量を表す尺度であるエロゾルの光学的厚さ(AOD)の遠隔測定によって観測されている。ヨーロッパと北アメリカにおけるエロゾルの減少は、粒子状物質の質量の地上での現場モニタリング結果と整合している。衛星による世界で平均したエロゾルの光学的厚さの変化傾向についての**確信度は低い**。{2.2.3}

放射収支

第4次評価報告書以降、大気上端の放射フラックスについての衛星記録は大幅に拡大しており、2000年以降、地球全体及び熱帯の放射収支に**有意な変化傾向がある可能性は低い**。エルニーニョ・南方振動に関連した地球のエネルギー不均衡における年々変動は、観測の不確実性の範囲内で、海洋貯熱量の記録と整合している。{2.3.2}

¹ 括弧内の数値は90%信頼区間の範囲。本章の他の箇所では一般に、トレンド手法から推定された変化について、90%信頼区間の半値幅を示している。

² 本報告書では、利用できる証拠を記述するために、「限られた」、「中程度の」、「確実な」を、見解の一致度を記述するために、「低い」、「中程度の」、「高い」といった用語を用いる。確信度は、「非常に低い」、「低い」、「中程度の」、「高い」、「非常に高い」の5段階の表現を用い、「確信度が中程度」のように斜体字で記述する。ある一つの証拠と見解の一致度に対して、異なる確信度が割り当てられることがあるが、証拠と見解の一致度の増加は確信度の増加と相関している(詳細は1.4節及びBox TS.1を参照)。

³ 本報告書では、成果あるいは結果の可能性の評価を示すために、次の用語が用いられる。「ほぼ確実」:発生確率が99~100%、「可能性が非常に高い」:発生確率が90~100%、「可能性が高い」:発生確率が66~100%、「どちらも同程度」:発生確率が33~66%、「可能性が低い」:発生確率が0~33%、「可能性が非常に低い」:発生確率が0~10%、「ほぼあり得ない」:発生確率が0~1%。適切な場合には追加で以下の用語を用いることがある。「可能性が極めて高い」:発生確率が95~100%、「どちらかと言えば」:発生確率が>50~100%、「可能性が極めて低い」:発生確率が0~5%。可能性の評価結果は、「可能性が非常に高い」のように斜体字で記述する(詳細は1.4節及びBox TS.1を参照)。

地表面の太陽放射は、1950年以降、十年規模の広範な変化を経た**可能性が高く**、多くの陸上観測点において1980年代までは減少(暗化)し、その後は増加(明化)していることが観測されている。1990年代初頭以降に陸上の観測点で下向きの熱放射と正味の放射が増加したことの**確信度は中程度**である。{2.3.3}

温度

19世紀後半以降、世界平均地上気温が上昇していることは**確実**である。地球の表面では、測器記録において過去30年の各10年はいずれも先立つ10年よりも高温でありつづけ、21世紀の最初の10年が最も高温であった。陸域と海上を合わせた世界平均地上気温は、線形の変化傾向から計算すると、独立して作成された複数のデータセットが存在する1880~2012年の期間に0.85 [0.65~1.06] °C昇温しており、1951~2012年の期間に約0.72 [0.49~0.89] °C昇温している。現時点で最も長期間にわたっている単一のデータセットに基づく、1850~1900年の期間平均に対する2003~2012年の期間平均の上昇量は0.78 [0.72~0.85] °Cであり、予測の基準期間である1986~2005年の期間平均の1850~1900年の期間平均に対する昇温は0.61 [0.55~0.67] °Cである。地域的な変化傾向の計算が十分そろそろ最も長い期間(1901年から2012年)では、地球のほぼ全体で地上気温の上昇が起きている。数十年にわたる明確な温暖化に加えて、世界平均地上気温はかなりの大きさの十年規模や年々での変動性を含んでいる。自然の変動性のために、短期間の記録に基づく変化傾向はその期間の始めと終わりの選び方に非常に敏感であり、一般には長期的な気候の変化傾向を反映しない。一例として、強いエルニーニョ現象の年から始まる過去15年間の気温の上昇率(1998~2012年で、10年当たり0.05 [-0.05~+0.15] °C)は1951年以降について求めた気温の上昇率(1951~2012年で、10年当たり0.12 [0.08~0.14] °C)よりも小さい。1995、1996、1997の各年で始まる15年間の変化傾向はそれぞれ10年当たり0.13 [0.02~0.24] °C、0.14 [0.03~0.24] °C、0.07 [-0.02~0.18] °Cである。観測所での観測によって得られた世界及び地域的な陸域の地上気温について独立して解析されたデータ記録は、地上気温が上昇しているという点でおおむね一致している。海面水温も上昇している。衛星データを含む様々な測定方法によって得られた新しい海面水温データの記録を相互比較した結果、記録の不確実性やバイアスに対する理解が深まった。{2.4.1、2.4.2、2.4.3; Box 9.2}

都市域のヒートアイランド効果と土地利用の変化の効果がどちらも補正されていないことで、陸域の世界平均地上気温の百年規模の変化傾向を増加させたが、その大きさが報告された値の**10%以上である可能性は低い**。これは平均値であり、急速に開発の進んだ地域においては、都市のヒートアイランドや土地利用の変化が地域的な変化傾向に与える影響はかなり大きくなると推測される。{2.4.1.3}

第4次評価報告書において重要な不確実性として記載されていた世界の気温の日較差の減少の**確信度は中程度**である。過去の多くの研究で用いられた未加工のデータによる最近のいくつかの解析結果は、平均最高及び平均最低気温に異なる影響を与えているバイアスがある可能性を指摘している。もっとも、気温の日較差の見かけの変化は、平均気温について報告された変化よりもはるかに小さく、このため、1950年以降、最高及び最低気温が上昇したことは**ほぼ確実**である。{2.4.1.2}

ラジオゾンデと衛星センサーによる測定結果による複数の独立した解析に基づく、20世紀半ば以降、世界的に対流圏が温暖化し、成層圏が寒冷化していることは**ほぼ確実**である。こうした変化傾向の符号については全ての見解が一致するにもかかわらず、とりわけラジオゾンデによって十分なサンプルがとられている北半球温帯の対流圏以外では、気温の変化率についての利用可能な推定値の間にかかなりの不一致が存在する。このため、気温の変化率とその鉛直構造については、北半球温帯の対流圏では**中程度の確信度**しかなく、その他の地域では**確信度は低い**。{2.4.4}

水循環

1901年以降の世界の陸域で平均した降水量の変化の**確信度は、1951年までは低く、それ以降は中程度**である。北半球の中緯度の陸域平均では、降水量が1901年以降増加している**可能性が高い(1951年までは中程度の確信度、それ以後は高い確信度)**。その他の緯度帯については、領域平均した長期的な増加又は減少の変化傾向は、データの品質、データの完全性、あるいは利用可能な推定値間の不一致のために**確信度は低い**。{2.5.1.1、2.5.1.2}

世界の地表面付近及び対流圏の大気比湿は、1970年代以降に増加した**可能性が非常に高い**。しかしながら、近年は陸域の地表面付近の湿潤化が弱まっている(**中程度の確信度**)。その結果として、近年、陸域では地表面付近の相対湿度がかなり広範囲にわたって低下していることが観測されている。{2.4.4、2.5.4、2.5.5}

雲量の変化傾向は、独立したデータセット間でも整合している特定の地域はあるが、地球規模の雲の変動と変化傾向の観測においてはかなりの曖昧さが残るため、依然として**確信度は低い**。{2.5.6}

極端現象

1950年頃以降、地球全体で寒い日や寒い夜の日数が減少し、暑い日や暑い夜の日数が増加した**可能性が非常に高い**。20世紀半ば以降、熱波を含む継続的な高温の持続期間と頻度が世界的に増加したことについては**中程度の確信度**しかないが、その主な理由はアフリカと南アメリカにおけるデータや研究が不足していることにある。ただし、この期間にヨーロッパ、アジア、オーストラリアの大部分で熱波の頻度が増加した**可能性は高い**。{2.6.1}

1950 年頃以降、陸域での強い降水現象の回数が増加している地域のほうが、減少している地域よりも多い**可能性が高い**。北アメリカ及びヨーロッパについては**確信度が最も高く**、季節的及び／又は地域的な変動を伴う強い降水の頻度又は強度のいずれかが増加した**可能性が高い**。北アメリカ中央部において、降水現象がより強くなる傾向にある**可能性は非常に高い**。{2.6.2.1}

地球全体の循環のその他の側面における長期的変化については、観測上の限界や理解が限られていることから、**確信度は低い**。具体的には、陸域の地上風、夏季東アジアモンスーン循環、熱帯圏界面の極小温度、ブリューワー・ドブソン循環の強度が含まれる。{2.7.2、2.7.4、2.7.5、2.7.7}

20 世紀半ば以降、地球規模で観測されている干ばつ又は乾燥(降雨不足)の変化傾向に関しては、直接観測の不足、方法論上の不確実性、変化傾向に地理的な不一致があることから、**確信度は低い**。最新の研究に基づけば、1970 年代以降の干ばつの世界的な増加傾向に関する第 4 次評価報告書の結論は、おそらく誇張されていた。一方で、以下のような重要な地域的な変化がある。1950 年以降、干ばつの頻度と強度は地中海と西アフリカで増大した**可能性が高く**、北アメリカ中央部とオーストラリア北西部で減少した**可能性が高い**。{2.6.2.3} 【正誤表参照】

熱帯低気圧活動度の長期的(百年規模)変化は、観測能力の過去の変化を考慮すれば、引き続き**確信度は低い**。しかしながら、北大西洋では最も強い熱帯低気圧の頻度と強度が 1970 年代以降増加していることは**ほぼ確実**である。{2.6.3}

過去 1 世紀にわたる激しい風雨又はその代替データの大规模な変化傾向については、研究間の不一致や世界のいくつかの地域(特に南半球)における長期的なデータの不足により、**確信度は低い**。{2.6.4}

研究が不十分であることとデータ品質の問題があるため、ひょうや雷雨などの小規模で激しい気象現象における変化傾向についても、**確信度は低い**。{2.6.2.4}

大気循環と変動性指数

1970 年代以降、大気循環の特徴が極向きに移動している**可能性が高い**。これには熱帯域の拡大、低気圧経路とジェット気流の極方向への移動、北極の極渦の収縮が含まれる。証拠は北半球でより明確である。1950 年代以降、南半球環状モードがより大きな正極になっている**可能性が高い**。{2.7.5、2.7.6、2.7.8; Box 2.5}

年々から十年の時間規模の大规模変動は、多くの場合、大気循環の長期的変化について確実な評価を行う妨げになる。1950 年代から 1990 年代にかけての北半球中緯度の偏西風と北大西洋振動(NAO)指数の増加と、19 世紀末から 1990 年代の太平洋のウォーカー循環の弱体化は、最近の変化によってかなりの程度相殺されたこと**の確信度は高い**。{2.7.5、2.7.8、Box 2.5}

【訳注 1】 本体報告書の表 2.1 に示された温室効果ガスで、京都議定書の削減対象である二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、ハロカーボン類及びオゾン層破壊物質であるクロロフルオロカーボン類、ハイドロクロロフルオロカーボン類等を指す。「長寿命の温室効果ガス」とほぼ同義である。

【訳注 2】 大気負荷: 原文では“atmospheric burdens”という用語が使われている。ここでは、温室効果ガスの増加により大気に与える負の影響という意味で負荷を用いたが、用語集で“burdens”は、大気中において特定の気体もつ総質量と定義されている。