

大項目	2	持続可能な社会の実現に向けた地球的課題と国際協力				
中項目	2-2	地球的課題とは何か、				
小項目	2-2-1	世界の自然の大局を理解して地域多様性や地球的課題を考える基礎としての自然地理-趣旨:世界の自然の見方を学ぶ(スケールや視点を変えると見えてくるものが変わる)				
細項目(発問)	2-2-1-4 地球温暖化	地球温暖化とは何かについて学ぼう。				
作成者名	日下 博幸	作成・修正年	2019/2021/2022/2023	Ver.	1.3	
キーワード	地球温暖化 気候変動 温室効果 温室効果ガス IPCC 影響評価 緩和策 適応策					

## 発問と答え

### (1) 気候変動とは何か。 気候とは？

気候とは何でしょうか？気象という言葉とよく似ていますが、その意味するところは大きく異なります。気象は、雨や風などの様々な「大気の現象」を意味する言葉です。一方で、気候は、「〇〇地域は年間を通して暑くて降水量が多い」といった「その地域における長年にわたる大気の平均的な状態」を意味します。この説明ではわかりづらいと感じた人は「大気」を「日々の天気」、「気温や降水量」と読み替えて、そのイメージをつかんでもよいでしょう。ここで、長年とは、どのくらいの年月を意味しているのでしょうか？ 国連の専門機関である世界気象機関(WMO)によると数カ月以上とのことですが、一般的には、30年程度の平均を意味することが多いでしょう。例えば、天気予報で耳にする「今年の気温は平年並み」は、今年の気温は30年間の平均値と同じくらいということの意味しています。

ただ、気候は変動します。実際、氷河期と現在の気候では大きく異なります。産業革命前と現在でも異なります。そのため、最近では、気候を説明する際に「気候は変動する」という意味を付け加えるようになりました。

気候という言葉は、国際的には、大気の平均的な状態だけでなく、異常気象のような極端な状態や極端な現象の出現頻度も含めて、もっと広い意味で使われています。例えば、世界気象機関は、気候を「数カ月から数百万年間の気温や降水、風などの統計」と定義しています。統計という言葉には、「年降水量が多い」といった平均的な特徴だけでなく、「豪雨がよく発生する」といった頻度の特徴なども含まれます。

まとめると、気候とは、昔から使われている狭い意味では「長年にわたる大気の平均的な状態」であり、現在使われているより広い意味では「大気の統計的な特徴であり、数カ月から数百万年といった様々な時間スケールで変動するもの」と説明するのがよいでしょう。

### ① 気候変動と地球温暖化

気候は、大気と海洋、地表面、雪氷、生態系などがお互いに影響を及ぼしながら(相互作用しながら)決まっています。ただし、気候は数年から数百万年までの様々な時間スケールで変動します。気候を決めるこの相互作用を含めたシステムは気候システムと呼ばれており(図1)、その変動は気候変動と呼ばれています。

気候変動の原因には、自然的に起こるもの(自然起因)と人間活動によって起こるもの(人為起因)があります。地球温暖化は、産業革命以降の人間活動の増大に伴う温室効果ガスの排出が生み出した気候変動です。

図2は、世界の平均気温の長期変動を表したものです。数年から数十年の変動を繰り返しながらも、世界平均気温は長期的には上昇していることがわかります。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第5次評価報告書では、世界平均気温が1880~2012年の間で約0.85℃(0.65~1.06℃)上昇していると報告されています。ここで、括弧内の値は、信頼区間を意味します。日本の気象庁も解析を行っており、同様の結果を得ています。

では、将来はどのくらい気温が上昇していくのでしょうか？IPCCは、今後の温室効果ガスの濃度によりますが(今後社会全体がどのように変化していくかによりますが)、今世紀末までに全球平均気温は現在(1986~2005年の平均)よりも0.3~4.8℃の範囲で上昇する可能性が高いと評価・報告しています。特に、温暖化対策を行わない場合は、2.6~4.8℃の範囲で上昇する可能性が高いと評価・報告しています。(参照 ur1 1)

図表のページ

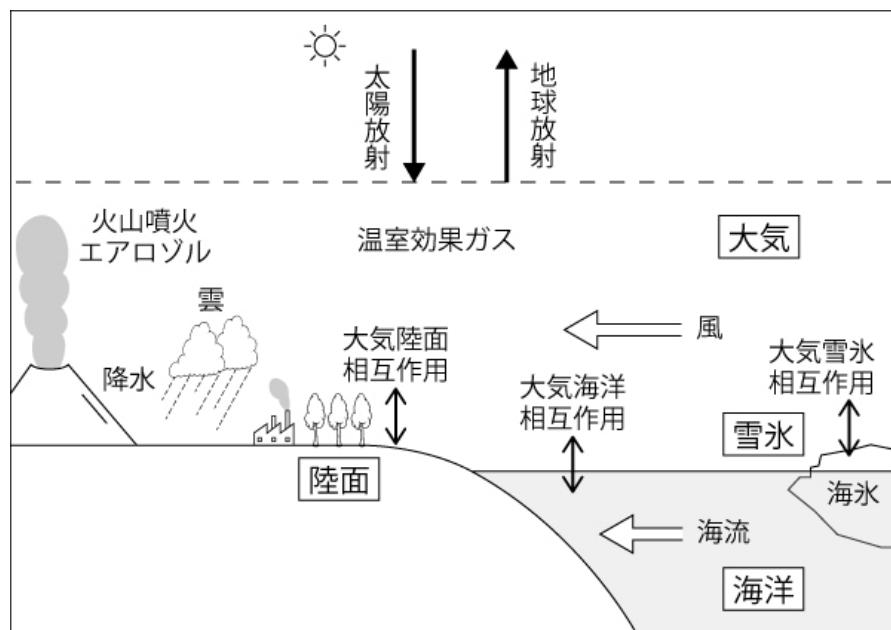


図1 気候システム概念図

(日下博幸 (2013) 学んでみると気候学は面白い (ベレ出版) より転載  
 ペレ出版転載許可: 2021年10月25日)

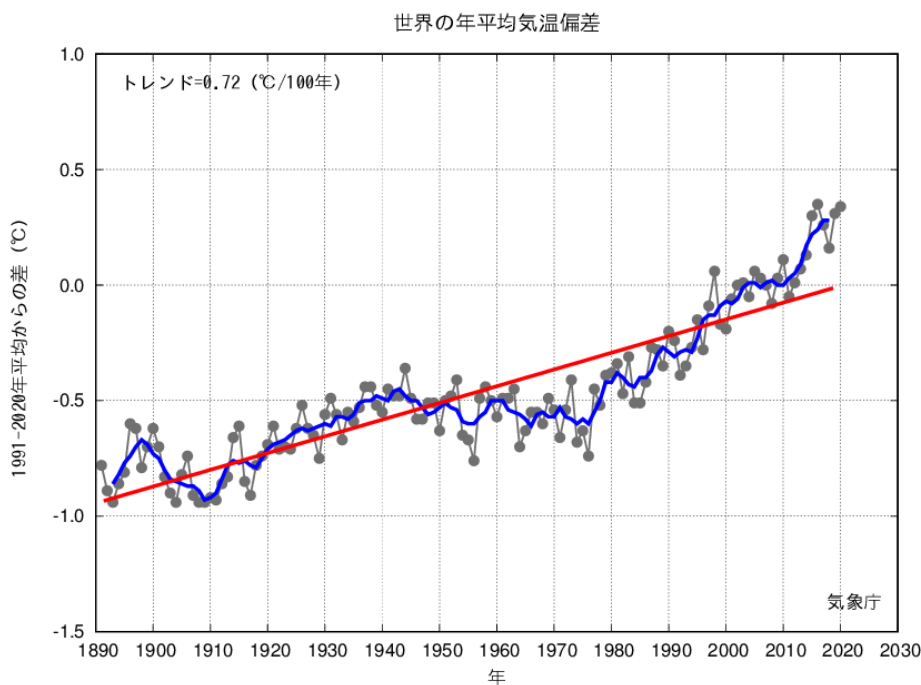


図2 世界の年平均気温偏差の経年変化 (黒細線: 各年の平均気温の基準値からの偏差, 青太線: 偏差の5年移動平均値, 赤直線: 長期変化傾向。偏差の基準は1991~2020年平均値  
 出典: 気象庁ホームページ ([https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an\\_wld.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html))

## (2) 地球温暖化の根拠

### ① IPCC とは？

IPCC は、Intergovernmental Panel on Climate Change の略で、日本語では「気候変動に関する政府間パネル」と言います。IPCC は、世界気象機関 (WMO) と国連環境計画 (UNEP) によって 1988 年に設立されました。IPCC では、各国の政府から推薦された科学者たちが、学術論文に掲載された成果を精査したうえで、世界中の専門家と政府から寄せられた膨大なレビューコメントを考慮して、気候変動に関する科学的および社会経済的な評価を行い、その結果を評価報告書にまとめています。第 1 次評価報告書が 1990 年に公表されて以来、およそ 5~6 年ごとに新しい評価報告書が公表されています (2013 年に第 5 次評価報告書が公表され、2019 年現在、第 6 次評価報告書を作成中)。

評価報告書は、気候変動に対する国際的な取り組みに科学的根拠を与えています。評価報告書の主な内容は、(1) 気候変動 (温暖化) の自然科学的な根拠に基づく過去の気候変動の評価と将来の予測、(2) 温暖化の影響とそれに対する適応策の評価、(3) 温暖化の緩和策の評価に大別されます。適応策と緩和策はどちらも温暖化の対策ですが、考え方は違います。緩和策は温暖化の原因である温室効果ガスの排出量を削減する、あるいは、植林などによって温室効果ガスの吸収量を増加させることを目的とします。適応策は緩和を実施しても温暖化の影響を避けられない場合にその被害を回避・軽減することを目的としています。

### ② 地球温暖化説の根拠

IPCC は、第 5 次評価報告書において、過去 100 年間の地上気温の上昇や、海洋の表層温度の上昇、海面水位の上昇、雪氷の減少、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 濃度の上昇などの観測事実 (図 3) から、地球温暖化は疑う余地がないと結論づけています。また、長期間の観測データと気候モデルを用いて行われた過去の気候再現実験 (コンピュータシミュレーション) の結果から、20 世紀後半以降の世界平均気温の上昇の半分以上が二酸化炭素の排出量の増加など人為的な要因によって引き起こされた可能性が極めて高いと結論づけています。

二酸化炭素濃度が増えると温暖化するという根拠の具体的な例としては、二酸化炭素濃度の増加と気温上昇のタイミングの一致、温室効果という論理的な考察、気候モデルを用いた実験結果 (コンピュータシミュレーションの結果) などがあります。温室効果と、気候モデル、コンピュータシミュレーションについては、後程詳しく説明します。

### ③ 温室効果とは？

太陽がエネルギーを放出しているように、地球もエネルギーを赤外線として放出しています。宇宙からみると、地球は太陽からエネルギーを受け取り、それと同じくらいのエネルギーを赤外線として宇宙に放出しています。もし地球の大気に温室効果ガス (水蒸気、二酸化炭素、メタンなど) がなかったら、地表は太陽からのエネルギーのみをうけとり、それとつりあうエネルギーを放出します。この場合の地球の地表付近の温度を計算するとマイナス 19°C になってしまいます。実際の温度 (14°C) とはかなり違います。現実の地球では、地球から放射される赤外線は、温室効果ガスによってその多くが大気中で吸収され、大気から再射出されます。そして、大気から再射出された赤外線の一部は地表面に到達します (図 4) (参照 url 2)。温室効果ガスがある場合で計算すると、地球表面が受け取るエネルギー量はその分増えるので、地球の温度は実際の値と近くなります。地球温暖化が問題視されているのは、温室効果ガスである二酸化炭素の濃度が急上昇することで気候が急変するからであって、温室効果ガスそのものが絶対悪というわけではありません。温室効果ガスがあるおかげで、私たちにとって住みやすい気候環境になっていることを忘れてはいけません。

図 5 は、気候モデルを用いた過去の気候変動の再現実験の結果です。人為起源の二酸化炭素やエアロゾルを入れて過去の気候変動の再現計算をすると、気候モデルは過去の気候変動をよく再現します。しかし、これらを入れないと、気候は自然変動するものの、長期的な変化は起こりません。観測から得られた気温変動を再現できる気候モデルはそれなりに信頼できると考えてよいので、IPCC や気象庁では、このような実験結果を地球温暖化がおこっているという根拠のひとつにあげています。

## 図表のページ

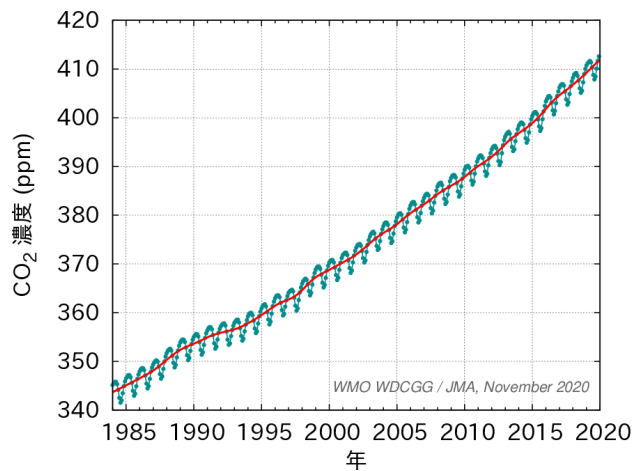


図3 温室効果ガス世界資料センター (WDCGG) が世界各地の観測データを収集し、それをもとに解析した地球全体の二酸化炭素濃度の経年変化  
出典：気象庁ホームページ

[https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2\\_trend.html](https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html)

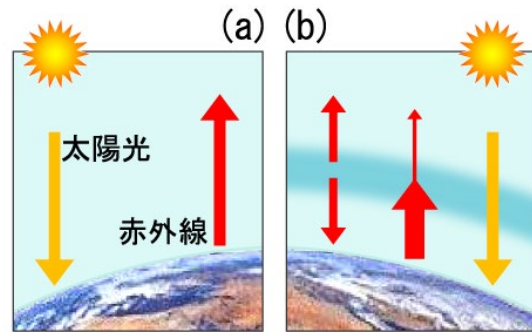


図4 (a) 温室効果ガスがない場合の放射バランス、(b) 温室効果ガスがある場合の放射バランス。(国立環境研究所、地球環境研究センターニュース2007年2月号、江守正多(2007)二酸化炭素が増えると温暖化するというはっきりした証拠はあるのですか。図2, p.8より)

<https://www.cger.nies.go.jp/publications/news/vol17/vol17-11.pdf>

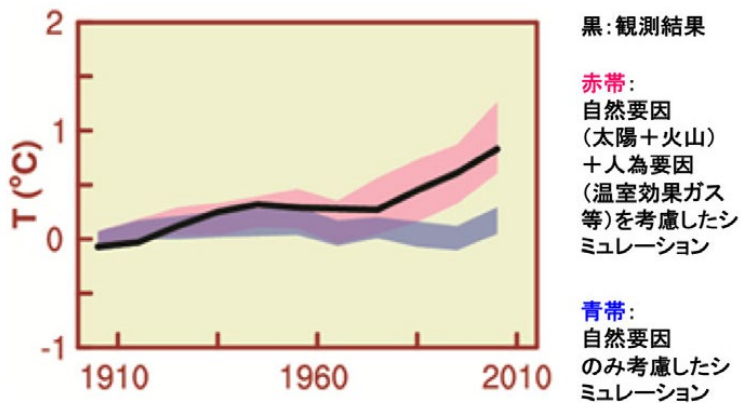


図5 世界平均地上気温変化(°C)の観測データ(黒線)、自然起源外部因子のみ考慮したシミュレーション(青帯)、自然起源外部要因+人為起源外部要因を考慮したシミュレーション(赤帯)。(元資料：IPCC第五次評価法報告書の図を塩伽秀夫日本語化)塩伽秀夫(2018)計算で挑む環境研究-シミュレーションが広げる可能性1よりよい気候変動対策の礎をつくる：気候変動予測の不確実性の低減、図1より引用)地球環境研究センターニュース2018年8月号、

<http://cger.nies.go.jp/publications/news/vol29/201808.pdf>

### (3) 地球温暖化の予測、影響、対策

#### ① 気候変動の将来予測の方法

気候変動の過去の再現や将来予測は、気候モデルを用いたコンピュータシミュレーションの手法によって行われています。気候モデルとは、大気や海洋の中で起こることを物理法則に従って定式化して（方程式を作って）、それをコンピュータで解くことで、大気や海水の流れ、温度などの時間変化をコンピュータ上で再現・予測するソフトウェアのことです。

このように、何らかの現象をコンピュータ上で模擬的に再現あるいは予測する実験手法をコンピュータシミュレーションと呼びます。ゲームソフトでもコンピュータシミュレーションは使われています。例えば、サッカーゲームにおけるCPU対CPUモードや、恋愛シミュレーションゲームなどは、高校生にとってのコンピュータシミュレーションの身近な例と言えるでしょう。地球における大気や海水の動きをサッカーにおける選手の全体的な動き、大気や海洋の物理法則を試合中の選手の基本プレー（ドリブル、パス、シュートなど）、大気中の温室効果ガス濃度を選手の能力パラメータと比較して見れば、気候モデルのイメージがつかめてくるかもしれません。

世界各国の研究者の努力によって、気候モデルは過去の気候変動をある程度再現できるようになりました。しかし、どんなに気候モデルの信頼性をあげても、それだけで将来の気候変動を完全に予測することはできません。なぜならば、将来の気候変動に大きな影響を与える温室効果ガスの濃度は、国の政策や社会経済活動に大きく依存するためです。そこで、IPCCは将来の温室効果ガスの濃度に関するいくつかのシナリオを想定し、気候予測の研究者たちは、それぞれのシナリオに沿って、このように二酸化炭素濃度が変動していけばこのように気候変動が起こるといった具合に、気候変動の将来予測を行なっています。

図6は、RCP8.5、6.0、4.5、2.6という異なる4つの温室効果ガス濃度シナリオに基づいて、気候モデルを用いて行なった気候変動の将来予測実験（コンピュータシミュレーション）の結果です。ここで、RCP2.6が温暖化対策を非常に大きく行った場合、RCP8.5が対策を行わなかった場合の温室効果ガスの濃度に対応しています。RCP6.0とRCP4.5は、2.6と8.5の間です。どのシナリオを採用しても、基本的には将来の世界平均気温が上昇すること、ただし、温暖化対策をどの程度行うかによって（選択するシナリオによって）将来の世界平均気温の値が異なることがわかります。気候変動の将来予測の結果は、温室効果ガスの将来濃度変動のシナリオに基づいている結果なので、天気予報のような純粋な予測と区別するために気候シナリオと呼ばれています。

#### ① 地球温暖化の影響

地球温暖化は、大気や海洋、そして私たちの暮らしにどのような影響を与えると予測されているのでしょうか。すでに述べたように、今世紀末までに全球平均気温は現在（1986～2005年の平均）よりも0.3～4.8℃の範囲で上昇する可能性が高いと予測されています。特に、温暖化対策を行わない場合は、2.6～4.8℃の範囲で上昇する可能性が高いと予測されています。また、極端に暑い日が増えると予測されています。日本の気温は世界平均よりもやや大きく上昇し、熱帯夜日数や猛暑日日数は今後ますます増加すると予測されています。温暖化による水稲の白未熟粒化・熱中症・デング熱リスクの増加、屋外での労働可能・運動可能時間の減少などが懸念されています（図7）。

海水温は上昇し、世界の海面水位は0.26～0.82mの幅で上昇すると予測されています。日本の海域でも海水温は上昇し、2030～2040年代には日本沿岸の熱帯・亜熱帯のサンゴ礁に適した海域は消滅すると予測されています。また、海面水温が59cm上昇すると日本の三大都市（東京・大阪・名古屋）周辺のゼロメートル地域は約5割増大すると予測されています。

温暖化は降水量にも影響を及ぼします。温暖化により、降水量が増える地域があれば減る地域もあり、降水量の地域差が激しくなると予測されています。積雪量は減少し、日本ではスキーエリアの減少が懸念されています。また、気温や海水温の上昇は、大気中の水蒸気量を増加させ、大雨の発生頻度や強度の増加、台風の大規模化などを引き起こし、自然災害の増大を引き起こすと懸念されています。ただ、大雨や干ばつ、台風の確度は現在でも十分に高いとは言えず、さらなる予測精度の向上が望まれています。

## 図表のページ

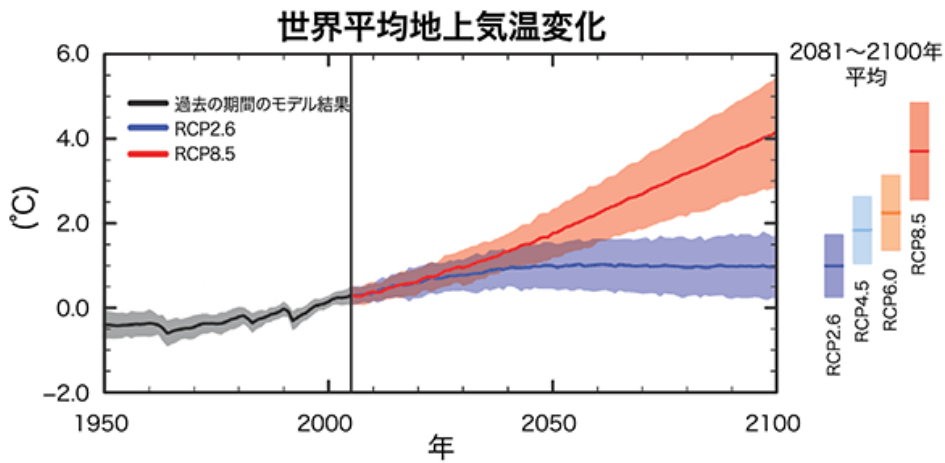


図6 世界平均地上気温の変化。1986～2005年平均からの偏差。複数の気候モデルにより計算されたもの。黒は過去の強制力に基づく再現。赤はRCP8.5シナリオ、青はRCP2.6シナリオに基づく将来予測。陰影は不確実性の幅を表す。（IPCC 第五次評価法報告書引用、国立環境研究所 改変。地球環境研究センターニュース 2014年4月号 図1,p.3より）

<https://www.cger.nies.go.jp/publications/news/vol25/201404.pdf>

## 日本全国の屋外での運動禁止日数マップ

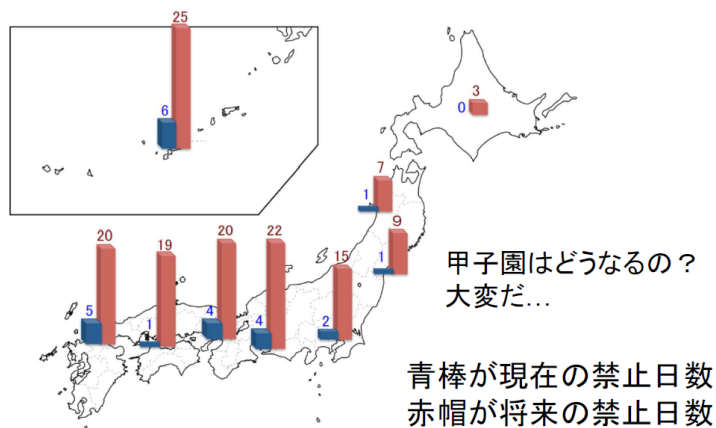


図7 日本の主要都市における現在（2000年代）と将来（2070年代）の標準的な8月における運動禁止日数。将来予測は、IPCC SRES A1Bシナリオに基づく。（日下博幸作成）

**参照 URL (2023 年 1 月参照確認)**

参照 url1 気象庁ホームページ

[https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an\\_wld.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html)

気象庁 地球温暖化情報ポータルサイト ホームページ

[https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/index\\_temp.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/index_temp.html)

参照 url 2 国立環境研究所 地球環境研究センターニュース

<http://www.cger.nies.go.jp/cgernews/>

気候変動適応情報プラットフォーム A-PLAT ホームページ

<https://adaptation-platform.nies.go.jp/>

国立環境研究所地球環境研究センター ココが知りたい地球温暖化 ホームページ

<https://www.cger.nies.go.jp/ja/library/ga/print/>

**参考文献**

江守正多 (2013) 『異常気象と人類の選択』 (角川 SSC 新書)

日下博幸 (2013) 『学んでみると気候学はおもしろい』 (ベレ出版)

日下博幸 (2016) 『見えない大気を見る 身近な天気から、未来の気候まで』 (くもん出版)

日本気象学会地球環境問題委員会 (編集) (2014) 『地球温暖化：そのメカニズムと不確実性』 (朝倉書店)