

# 公開データから探る学校の気候変動教育(CCE)のこれから

—学校の総合的な学習の時間などで実施する場合を想定して—  
非常勤講師（元教職研究科教授） 桐山信一

## 要約

日本の小中高等学校で気候変動教育を実施するとき、担当教員が教材研究や授業の中で直面する可能性のあるいくつかの疑問をあげた。児童・生徒が公開データを用いて学習を進める授業を想定し、自治体が実施する気候変動教育の事例を参考に、人為的炭酸ガス温暖化を防ぎ脱化石燃料の必要性を求めるといった単純な論理の教えにならないための手立てを考えた。

**キーワード：**気候変動教育（CCE）、炭酸ガス温暖化、異常気象

## 1 はじめに

気候変動という言葉は、それを聞かない日はないといっても誇張にならないくらい、社会に広がってきている。温暖化ガスの影響で、シベリアやアラスカなどの永久凍土の融解によるさらなる温暖化の進行、大西洋の熱塩循環が停滞し北半球が寒冷化するなど、いくつかの予測がある<sup>1)</sup>。また、1990年代には既に、温暖化によってユーラシア・アメリカ大陸の穀倉地帯の広範な範囲で土壌水分量が失われることが早魃を引き起こし、農業生産量が低下すると指摘されていた<sup>2)</sup>。教育の分野においても、小学校学習指導要領理科編では、気候という記述や概念は出てこないが、自然災害との関連を図りながら学習内容の理解を深めることが重要であると記されている。中学校学習指導要領理科編では、自然と人間活動の関係の学習内容に気候変動という言葉が出ている。小学校算数のデータの活用という学習内容にも気象データが示されている。2020年度は、このような内容を示した学習指導要領の完全実施年度となるため、2021年度以降、小中の理科では示された内容にそう指導がなされていくであろうと考えられる。

本稿は、日本の小中高等学校で気候変動教育を実施するにあたり、おそらく担当する教員が教材研究や授業の中で直面する可能性のあるいくつかの疑問に適切に対処していくために書かれた。

・・・中略・・・

日本の学校教員による実践研究（投稿誌に載ったもの）については、管見の限りでは見つけることができなかった（2021年3月時点）。しかし、校内研究や教育委員会での研究会レベルでは行われている可能性があり、学校現場においても教材化や指導がなされ、前述のように、2021年度以降は研究例も出てくると思われる。

## 2 自治体の実践例を参考に学校での授業を考える

政令指定都市の環境政策課が、市民対象の環境学習プログラムの一つとして行っている講座の中に、「地球温暖化と気候変動」がある<sup>10)</sup>。講座「地球温暖化と気候変動」は大人を対象に1単位時間（50分）で行われるが、内容的に学校現場の授業でも実施可能と考えられる。そこで、公開されている指導案を検討し、学校の授業ではどのような問題が起こり得るかを考える素材としたい。講座の2つのねらいと指導案の概要を図1に示す。

- ・地球温暖化と気候変動について、その原因と影響を学ぶ。
- ・なぜ省エネが必要なのかを考える機会をつくる。

時間	学習内容
導入 15分	・IPCC（国連気候変動に関する政府間パネル）の報告書によると、地球温暖化による影響は気温上昇だけでなく局地的な洪水（降水量の増加）や乾燥化などを引き起こす。そして、こうした天候の変化を「気候変動」という。将来、地球温暖化はどの程度進みどのような影響が現れるのかについて理解を深める。
展開 20分	・地球温暖化対策の効果が現れるのは50年後であり、子供や孫の世代のための活動である。そして、温室効果ガス排出量を抑制した場合と抑制しなかった場合の平均気温上昇値を比較し、将来どの程度まで温室効果ガスを削減する必要があるのかを考える。産業や運輸（貨物車など）からの排出量は減っているが、家庭やオフィスからの排出量は増え続けている。その主因は、エアコンやテレビなど家電製品の大幅な普及や自家用車の増加などであり、普段の生活の中の身近な省エネが重要である。 ・全国と浜松市の温室効果ガス排出状況、排出抑制の取組から、家庭からの排出について浜松市の特徴を解説しどのような取組ができるかを考える。受講者が地球温暖化を身近な問題として捉えるため、一般的な家庭からの二酸化炭素の排出量を伝える（年間約5t、体積250万lを超えるという状況）。
まとめ 15分	・家庭でできる省エネ活動について意見をまとめながら、地球温暖化防止活動における家庭の役割を考える。 ・省エネは意識の変化ですぐに実践でき、温暖化対策だけでなく経済的にも良いことであることを伝える。 ・地球温暖化対策と持続可能な社会への取組は深く結びついていることを伝え、温暖化対策実践への興味を高める。

図1 講座「地球温暖化と気候変動」の指導案（筆者が要約）

この指導案の論理（指導のストーリー）を図2に示す。その論理は、事実認識を踏まえて、事象を自分たちの問題としてとらえさせ、可能な対策を考えさせるという段階を辿った納得いくものである。物理教育の立ち位置からの主張であるが、物理における環境学習は環境理解の段階、環境主体認識の深化の段階があり<sup>1)1)</sup>、この2つの段階を経て学習者が実践する段階がくる。図2において事象を自分たちの問題としてとらえる態度（判断あるいは共感）は、自分が環境主体であるという認識の深化なしには生じない。学校での授業も図2の論理を踏まえた構成になるのではなかろうか。だが、今の学校現場は学習内容も多く多忙であり、総合的な学習の時間で実施するにしても気候変動だけに多く取れない状況を見ると、取れても2~3単位時間程度と思われる。

導入：地球温暖化の気候変動への影響 = 事実の認識 展開：温室効果ガス削減の必要性 = 自分達の問題としての認識 まとめ：家庭でできる省エネ活動 = 実践による行動変容
--

図2 講座「地球温暖化と気候変動」の論理

ここで、図1は一見わかりやすそうであるが、問題はないだろうか。筆者の見立てでは、地球温暖化と気候変動の原因を学ぶという事実認識の部分が弱いように見える。だが、気候という複雑な事象ゆえ、その解明や理解は難解なものであろうという推測は立つ。実際、現場で担当する教員からはどのような疑問が出るだろうか。温室効果の詳細（赤外線吸収・再放射に関することなど物理学的なこと）も含め、気候という概念に対しての疑問などいろいろと出るのはないだろうか。学校教育であるゆえ、市民向けの講座以上に事象の論理的つながり（あるいは空間的な広がり）、原因と結果（あるいは時間的な前後）など、子どもたちが納得する内容が求められる。次に、想定される疑問を考える。第1に、論理のつながりという視点からは、

- ①地球温暖化が気候変動を引き起こすのか、それとも気候変動の一つが地球温暖化なのか。
- ②地球温暖化は自然現象ではないのか。地表の炭素量は増えているのか。
- ③地球温暖化は人為起源の温室効果ガス排出で起こっているのか。
- ④温室効果ガスは二酸化炭素だけ考えればよいのか。
- ⑤歴史時代や地質時代の気温変化や地質時代の気候変動はどうなっていたのか。

などがあげられる。第2に、原因と結果という視点では、

- ⑥地球気温と二酸化炭素はどのように上昇しているのか。
- ⑦二酸化炭素濃度増加が地球気温上昇の原因であるという直接の証拠はあるか。
- ⑧大気中に体積混合比0.04%程度（400ppm）しかない二酸化炭素が気温を上げているのか。

⑨気温が上がれば海水温も上がり、海水中の二酸化炭素が放出されるのではないのか。

⑩大気中の水蒸気は温室効果に寄与しないのか。

などがあげられる。10問を示したが他の問いはまだあるかもしれない。二酸化炭素にまつわる問いが多くなることが考えられる。なお、空気の成分としての二酸化炭素の学習は小学校6年の理科にあり、高校生では、溶液の温度上昇で気体の溶解度が小さくなることは学習している。担当の教員が可能な限り上記のような問いや問題意識を明確にもてば、どのような教材化を行えば児童・生徒が興味・関心をもって学習することができるか、という指導上の課題の解決にもつながると考える。問題意識をもとに、事実認識の段階をしっかりと踏まえれば、他所の問いではなく私たちの問いであると認識する段階、対策を考えて実行し生活や社会を見直す段階につながるのではないのか。それゆえ、教育的判断として、産業革命後の人為的炭酸ガス増加だけを教え、脱化石燃料の必要性を求めるような単純な論理の指導にならないようにしたい。

### 3 炭酸ガス温暖化はどのようなデータから判断できるのか

ここでは、教育の場で事実確認が求められる問⑥⑦を中心に考える。炭酸ガス温暖化の真偽については、赤祖父俊一、伊藤公紀、江守正多らによる対論や東北アジア研究センターにおける議論（懐疑論と反論）が公表されている<sup>12) 13)</sup>。

・・・中略・・・

以上、人為起源の二酸化炭素濃度増加が温暖化の原因であるという直接の証拠を得るのは難しいようであり、炭酸ガス温暖化論には対立仮説もあることが理解される。しかし、産業革命後の気温上昇、二酸化炭素濃度増加、放射強制力の評価、炭素循環などの研究から、人為起源による二酸化炭素濃度増加は、地球温暖化に影響を与えている可能性は高いと判断できる。

### 4 公開データを用いて行う気候変動教育の総合的な学習の時間における教材例について

2の最後で示した教育的判断、3で示した事実認識からも、温暖化の原因は人為起源の二酸化炭素濃度増加であると“教えて”行動変容をうながすような教育は避けなければならないことが理解される。そして、学習の3段階（図2）に留意し、児童・生徒のさまざまな疑問や質問に対応しながら進めることが求められるのではなかろうか。学習の3段階を再度示す。

1) 認識と理解：上述のような間接的な証拠を公開データからいくつかあげて考えさせる。

2) 判断と共感：自分たちの問題としてとらえ共感できるようにしていく。

3) 行動：脱エネルギー大量消費、脱化石燃料の必要性に気付き行動変容につなげる。

段階2)では、学習者が地域や日本の気象・気候に興味・関心をもてるように、気象庁の公開データ、近藤による日本34地点の地球温暖化量のデータセット（1881～2019年）<sup>21)</sup>の利用などが考えられる。近藤のデータセットは、地球温暖化量を推計するために、気象庁のデータに観測方法の変化、日だまり効果（観測地点の風通し悪化による平均気温の上昇）、周辺の都市化による影響などを補正している。

・・・中略・・・

実例として日本の日最高気温と日最低気温の1980年前後の母集団の変化を図示し（文献22の図1）、気候変動教育においては、理科と数学（算数）の連携を主張する。根本も、世界の気候を左右するのは大気の流れを決定する気圧分布であるとし、東京の1月の平均気圧を例に（その平均値は1016.3Pa）、標準偏差の5倍を超えて異常低下した1963年を例にあげ（統計的には1万年に1回程度の事象）、日本全体にも同様の傾向がみられた反面、アイスランド付近では異常上昇がみられたことを取り上げている。もし、平均値が変わるような母集団の変化が起こっ

ていたら、分散の裾の部分の出現頻度が著しく増大するゆえ異常気象が頻発するとし、100年に1度の洪水も10年に1度となると例をあげる（文献14 pp.9-22 図1-1）。このように、気候変動とは、異常気象のレベルや頻度を観察して推定される母集団の変化であるとみなすこともできる。異常気象の原因は、中緯度における偏西風の蛇行（うねり）が非常に大きくなったことである。中緯度における偏西風の蛇行が頻発するような異常気象の背後には、気候変動が生じている可能性がある。木本は、偏西風の蛇行について、人為的なCO<sub>2</sub>温暖化説と自然変動としての太陽活動低下説の2つを紹介している<sup>2,3)</sup>（図5）。

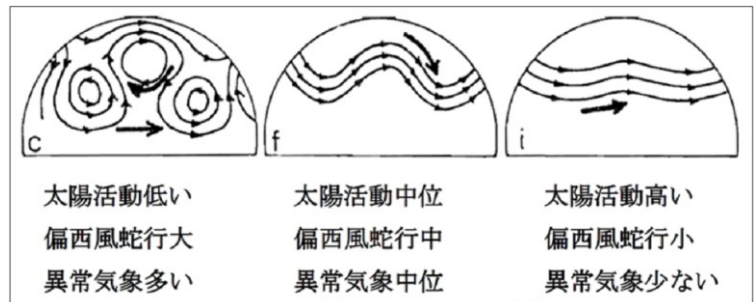


図5 偏西風波動の蛇行（文献23 図表2より）

・CO<sub>2</sub>温暖化で北極海水が融け、北極上空と中緯度との気温差が小さくなり、偏西風が弱くなって蛇行し易くなったため・・・(中略)・・・太陽活動が低下すると偏西風が蛇行し、熱波、豪雨、豪雪、雹嵐などの異常気象が起きる・・・

木本は太陽活動低下説をとるが、教育の場では両者の可能性を踏まえた指導が必要であろう。

次に、3で述べた炭酸ガス濃度変化と気温変化のプロットであるが、図6のようになる。気温は東京のデータを用いた。図6左の最適直線から、炭酸ガス濃度測定が始まった1987年から2019年までの32年間で、炭酸ガス濃度増加とともに0.005°C/ppm程度の気温上昇が認められる。回帰モデルのr<sup>2</sup>が小さいのは(r<sup>2</sup>=0.04, n.s.)、2015年以後の低い気温データが影響している(2014年まで r<sup>2</sup>=0.14, 有意傾向 p≐0.051)。授業では、公開データから図6のようなグラフ化を学習者に行わせれば、考えるきっかけが得られるのではないだろうか。小学校6年の算数には、平均値、中央値、最頻値などの代表値を求め、階級を決めてヒストグラムを作り、それらを用いて批判的に考察する内容があり、炭酸ガス濃度増加と気温上昇のデータ比較は可能であると思われる。児童・生徒の知識と能力を生かす場の一つが気候変動教育であろう。

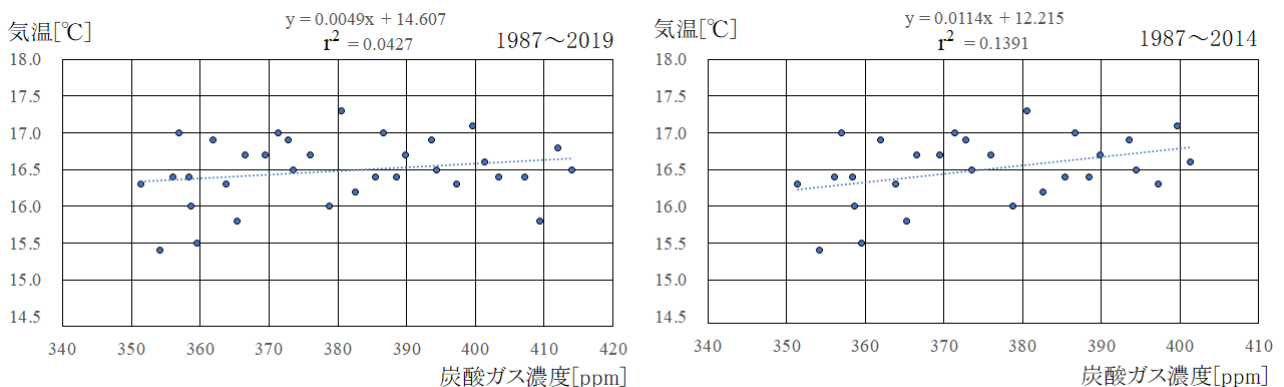


図6 炭酸ガス濃度と気温変化

次に、問⑤に関連し、歴史時代や地質時代の気候変動の教材化について考える。地球の軌道要素の変化で、気候はおよそ10万年間の氷河期と2万年間の間氷期が交互に入れ替わり、現在からおよそ12000年前から間氷期に入っている。しかし、温暖な期間が持続したわけではなく、寒暖が繰り返された。約6000年前の縄文時代前期は完新世温暖期にあたり、気温は現在より2°Cほど高く温暖で湿潤な気候であった。温暖化により氷河が融け、あるいは海水の熱膨張により海水面が10m近く上昇し海岸線が陸地の奥深く入り込んでいた（縄文海進）。縄文時代中期後半以降、気候が寒冷化した。弥生時代から現代までの広い期間の気温推定については、1866本



の年輪をもつ屋久杉をサンプルに安定炭素同位体比を用いて気温変化を復元した北川の研究がある<sup>24)</sup>。数値データがないため、公開データとしての図（文献24 図2-2）から数値を読み取った。完全な読み取りではないがこれを図7に示す。図中の曲線は、データに Excel の分析ツールにあるフーリエ変換をかけて抽出された周期のスペクトルを用いて合成して作った。次にどの周期が来るかを定め、1950年以降の気象庁のデータをつなぐと、100年ほどの未来予測ができるかもしれない。このようなデータを用い、高校の総合的な学習の時間などの探究活動として、“歴史時代で気温データを分けたときにどのように見えるか”と問いを立て調べることも可能である。

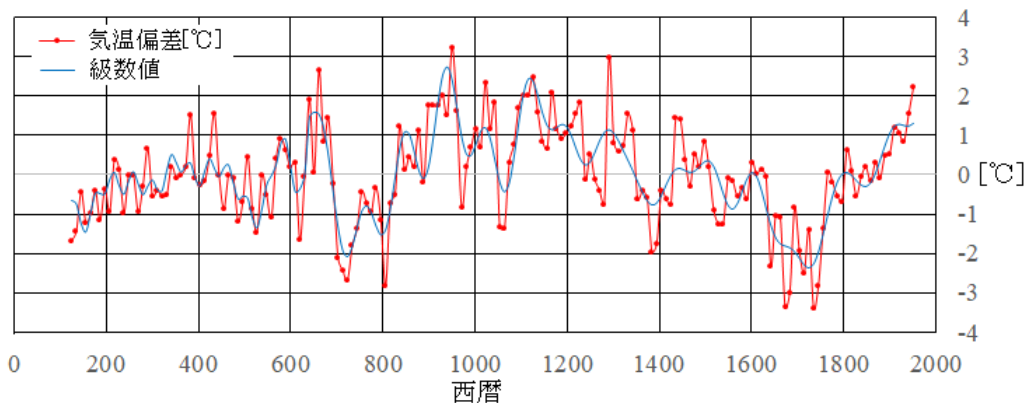


図7 読み取った歴史時代の気候復原図（縦軸の0は過去2000年間の平均気温）

分析ツールの一元配置分散分析・多重比較を用いると、日本史の8区分（弥生、古墳、飛鳥・奈良、平安、鎌倉、室町・安土桃山、江戸、明治以降）では、図8のように、平安時代は温暖な時期であり、江戸時代は平安時代より2度程度寒冷であったことがわかる ( $F=10.8, p<.001$ )。木本は、寒冷化と大雨の持続により、享保、天明、天保の三大飢饉が起こり、寒冷期に異常気象が多かったことを紹介している<sup>25)</sup>。世界史4区分（古代、中世、近世、近代）では、中世温暖期、近世寒冷期があったことなどが読み取れる ( $F=10.1, p<.001$ )。ここまでの寒暖に現れた気候変動は、太陽活動などによる自然変動が原因である。しかし、明治以降や近代以降になると、自然変動に加え、人為起源の温暖化ガス増加の影響が加わる。生徒が履修する歴史と連携した気候変動の学習は、気候と文明の関連を考え、近代合理主義を問い直すきっかけにもなるのではないか。以上の事例からも、適切な公開データを用い、理科と数学、歴史などを連携すれば、児童・生徒の数学的能力に応じて、気候変動に興味・関心をいただき、学習者の脱化石燃料への実践につなげていけるような探究的学びが成立するのではなかろうか。

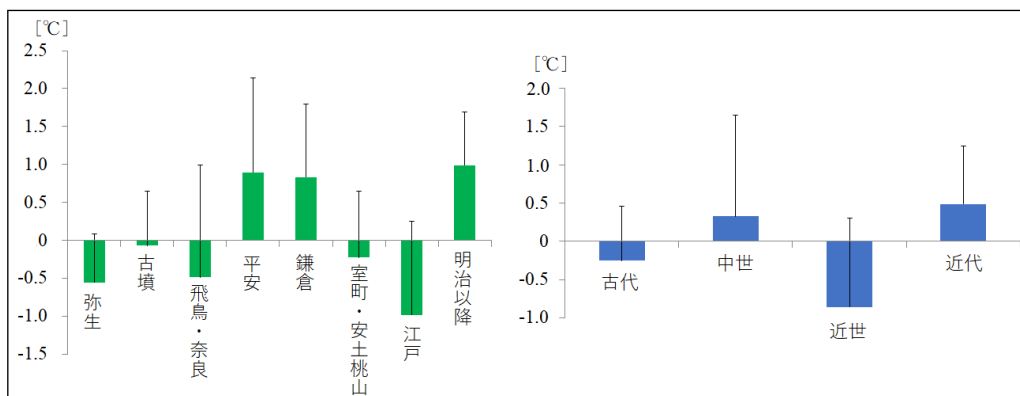


図8 歴史時代区分から見える気候変動（棒の長さは平均値、線は標準偏差）

## 5 おわりに

降水量の公開データや公開動画を用いると、気象の激しさのような指標とその変化を見つけられる可能性がある。そして、温暖化・気候変動へと学習者の関心をつなぐ糸口を探ることができるかもしれない。これらの教育について、本稿ではふれることができなかった。

## 引用・参考文献

- 1) 横島徳太 他：国立環境研究所地球環境研究センターニュース、Vol.28、No.7 (2017)
- 2) 吉野正敏・安田喜憲編：歴史と気候、講座 文明と環境、朝倉書店 (1995)、第6巻、pp.254-257
- 3) 環境省：IPCC 第5次評価報告書の概要—第1作業部会（自然科学的根拠）—、2014年12月
- 4) 気象庁 HP：<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/3-1.html>
- 5) 港ユネスコ協会 HP：<https://minato-unesco.jp/>、聖心女子大学教授永田佳之氏の基調講演と終了後の対談から（対談者：東京大学特任教授 保坂直紀氏、岡田英里氏）
- 6) 高橋敬子・脇岡 靖明ほか：地域のリーダー育成のための気候変動教育とは—日本・ドイツの気候変動の教育事例の比較分析に基づいて—環境教育、Vol. 26-2 (2016)、pp.29-42
- 7) 高橋敬子：システム思考コンピテンシーをどのようにして強化するのか—日本の気候変動教育における学習手法「ミステリー」の可能性—、環境教育、Vol. 29-2 (2019)、pp.14-23
- 8) 聖心女子大学永田研究室 HP：<https://climate-empowerment.com/> など
- 9) 永田佳之編：気候変動の時代を生きる、山川出版社 (2019年3月)
- 10) 浜松市 HP：<https://www.city.hamamatsu.shizuoka.jp/index.html>、浜松版環境学習プログラム「地球温暖化と気候変動」
- 11) 桐山信一：物理教育をテーマにした総合化に向けて—環境教育クロスカリキュラムの実践と分析—、日本物理教育学会誌 51-2 (2003)、pp. 93-98
- 12) 赤祖父俊一、伊藤公紀、江守正多 他：地球温暖化その科学的真実を問う(2)、エネルギー・資源学会「エネルギー・資源」、Vol. 30 No. 2 (2009)、pp.70-88
- 13) 明日香壽川 他：地球温暖化問題懐疑論へのコメント（東北大学東北アジア研究センター、2009）、第3章 温暖化問題の科学的基礎、[www.cneas.tohoku.ac.jp/labs/china/asuka/\\_src/.../chap3.pdf](http://www.cneas.tohoku.ac.jp/labs/china/asuka/_src/.../chap3.pdf)
- 14) 根本順吉：超異常気象、中公新書 (1994)、p.213
- 15) 槌田 敦：異説・地球温暖化論—CO<sub>2</sub>温暖化説は間違っている—、名城論叢 (2006)、第6巻 第3号 pp.1-12
- 16) 槌田 敦：石油と原子力に未来はあるか—資源物理の考えかた—（増補）、亜紀書房 (1978)、p.200
- 17) 中島映至、竹村俊彦：放射強制力、日本気象学会 天気 56 (2009)、pp.29-31
- 18) 原子力研究開発機構：放射強制力、原子力百科事典 ATOMICA、<https://atomica.jaea.go.jp/index.html>
- 19) 埼玉県立寄居城北高等学校：児童生徒が主体的に取り組む環境教育、県立総合教育センター研究報告書 第416号 (2020.3)、pp.50-62
- 20) 青木周司：人間活動によって大気に放出された CO<sub>2</sub> のゆくえを探る、コンクリート工学、Vol.48、No.9 (2010)、pp.4-7
- 21) 近藤純正：日本の地球温暖化量再評価 2020、<http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/ke203.html>
- 22) 坪田幸政：気候変動をテーマとした理科と数学の連携、日本科学教育学会年會論文集 39 (2015)、pp.402-403
- 23) 木本協司：日本の気温推移と異常気象、国際環境経済研究所解説、<http://ieei.or.jp/2020/10/exp1201012/>
- 24) 北川浩之：屋久杉に刻み込まれた歴史時代の気候変動（文献2）の北川執筆部分）、pp.47-55
- 25) 木本協司：CO<sub>2</sub>温暖化論は数学的誤りか、理工図書 (2010)、pp.135-146