

[基調講演]
脱炭素社会に向けた国内外の取組み

2021年11月27日

**2021年度 第3回 SWIM研究会
(電子情報通信学会)**

於：Zoomオンライン発表

宮西 洋太郎 †

† 株式会社アイエスイーエム (ISEM, Inc.)

元三菱電機, 元公立はこだて未来大学, 元宮城大学

本日の発表内容

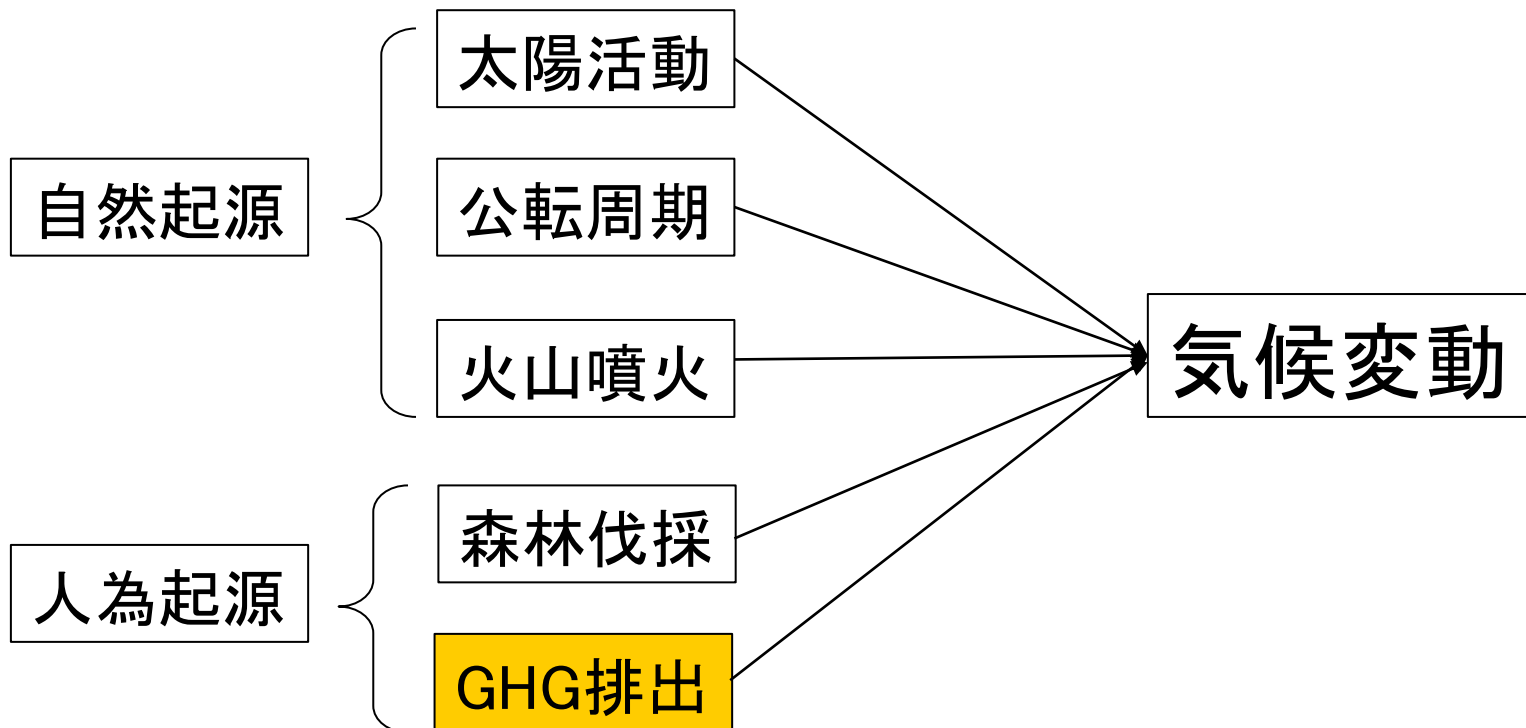
1. はじめに
2. 国際的な取組み
(IPCC, COP, UNFCC)
3. 我が国の国における取組み
(立法・行政, 観測, 技術)
4. 我が国の地方における取組み
(行政, 観測, 民間)
5. 我々の取組み
(勉強会, 計測システム, 公開)
6. おわりに

あらまし

- 現在、**地球温暖化問題**が国際的に解決を要する喫緊の課題となっている。少数の異論があるもののプリンストン大学真鍋叔郎先生が2021年のノーベル賞を受賞され、評価されたように地球温暖化の原因は、**人的活動が発生する温暖効果ガス（主に二酸化炭素CO₂）**が主な原因とされている。
- 多くの国際機関、国家もこの考えに基づき様々な温暖化対策の目標や政策を実施している。
- 我が国では2021年4月に当時の菅政権が、**2030年には2013年に比べ46%のCO₂排出量削減を、2050年にはCO₂排出量を実質ゼロ（CO₂排出量と森林や海洋などによるCO₂吸収量を同じにする）**を目標として掲げた。
- この目標の達成のためには社会的、経済的、技術的に様々な影響をうけることが予想される。本稿では、**地球温暖化に対する国内外の取組み**を概観し、**経済や技術、特に情報システムやデータとの関わり**を考察したい。
- そして我々の取組みの一例として**高精度CO₂濃度計測システム**を紹介する。

1. はじめに(研究の背景)

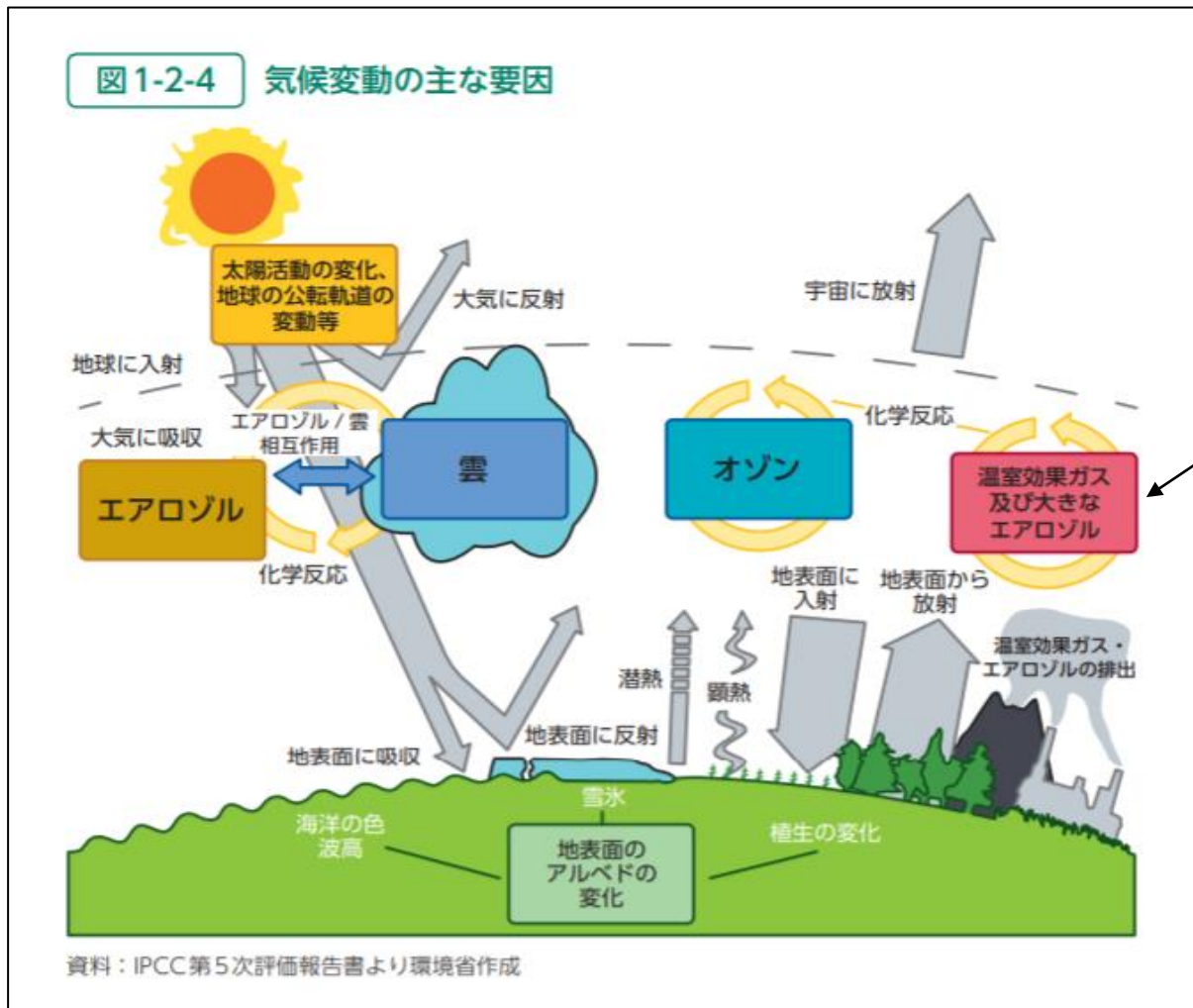
- 気候変動をもたらす要因には、太陽活動の変化、地球の公転軌道の変動、火山噴火の影響など自然起源の要因もあるが、化石燃料を起源とする温室効果ガスの排出や森林伐採などの人為起源の要因もある[1][2].
- 特に近年、人為起源の要因の影響が大きい。その中でも温室効果ガス(GHG, Green House Gas)、とりわけ化石燃料燃焼による二酸化炭素(CO₂)の影響が大きく、このCO₂排出量をいかに今後2050年までに実質ゼロに向けて抑制していくか(すなわちカーボンニュートラル、脱炭素社会)が国際的な取組みとなっている。



1. はじめに(研究の背景)

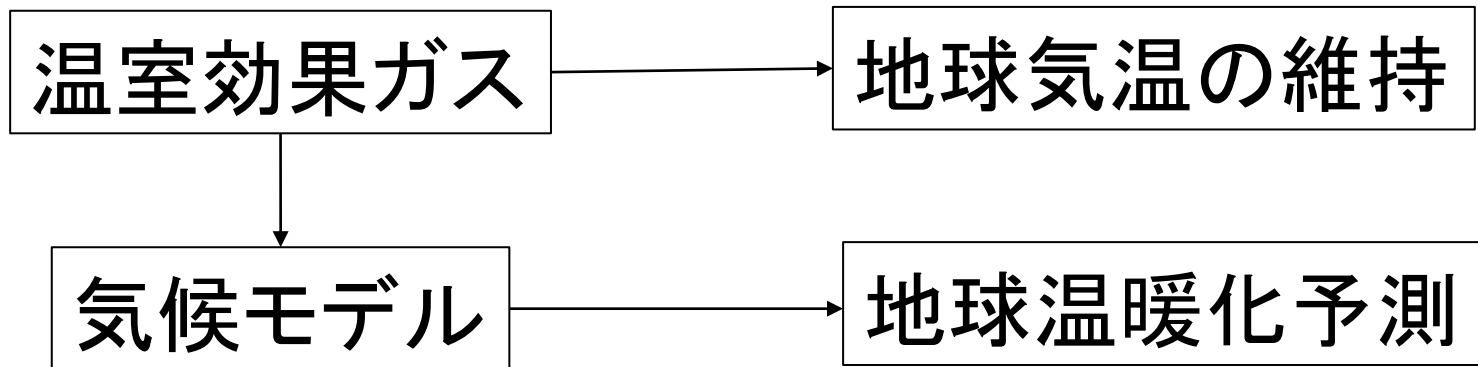
令和2年度環境白書

第1章 第2節 気候変動問題 2 気候変動問題の概要と科学的知見 p.10



1. はじめに(研究の背景)

- 本年ノーベル物理学賞を受賞された真鍋先生の理論は、CO2などの**温室効果ガス**が**地球の気温維持**に重要な役目をはたしていることを物理現象として理論的に解明された
- 温室効果ガスが過小ならば、地球の気温は異常に低温になり、逆に過大であれば、地球の気温は異常に高温になることを示された。
- 1967年以来継続された研究で、1989年には**気候モデル**で**地球温暖化の現象を予測**されている。すなわち、産業革命以降、人為的活動によるCO2排出が今日の地球温暖化の主な原因になっていることを示された。少数の異論があるものの世界のほぼ合意となっている。



- 本稿では、国際的な取組みから国、地方公共団体（都道府県、市区町村）、民間での取組み、そして微力ながら我々の取組みの一例として高精度CO2計測システムについて紹介する。

2. 国際的な取組み

(1) 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)

・気候変動に関する科学的、技術的知見を集約するために
世界気象機関(WMO, World Meteorological Organization)及び
国連環境計画(UNEP, United Nations Environment Program)により
1988年に
気候変動に関する政府間パネル(IPCC, Intergovernmental Panel on
Climate Change)が設立された。

IPCCは気候変動に関する知見を集約した
評価報告書(Assessment Report)を第1次(AR1)から第5次(AR5)まで作
成・公表している。

今年8月6日に第1作業部会担当分（自然科学的根拠）の第6次評価報告書
(AR6)が公表された。
第2作業部会担当分（影響・適応・脆弱性）は来年2月、
第3作業部会担当分（気候変動の緩和）は来年3月に公表される予定と
なっている[3]。

2. 国際的な取組み

(2) 国連気候変動枠組条約締約国会議(COP)

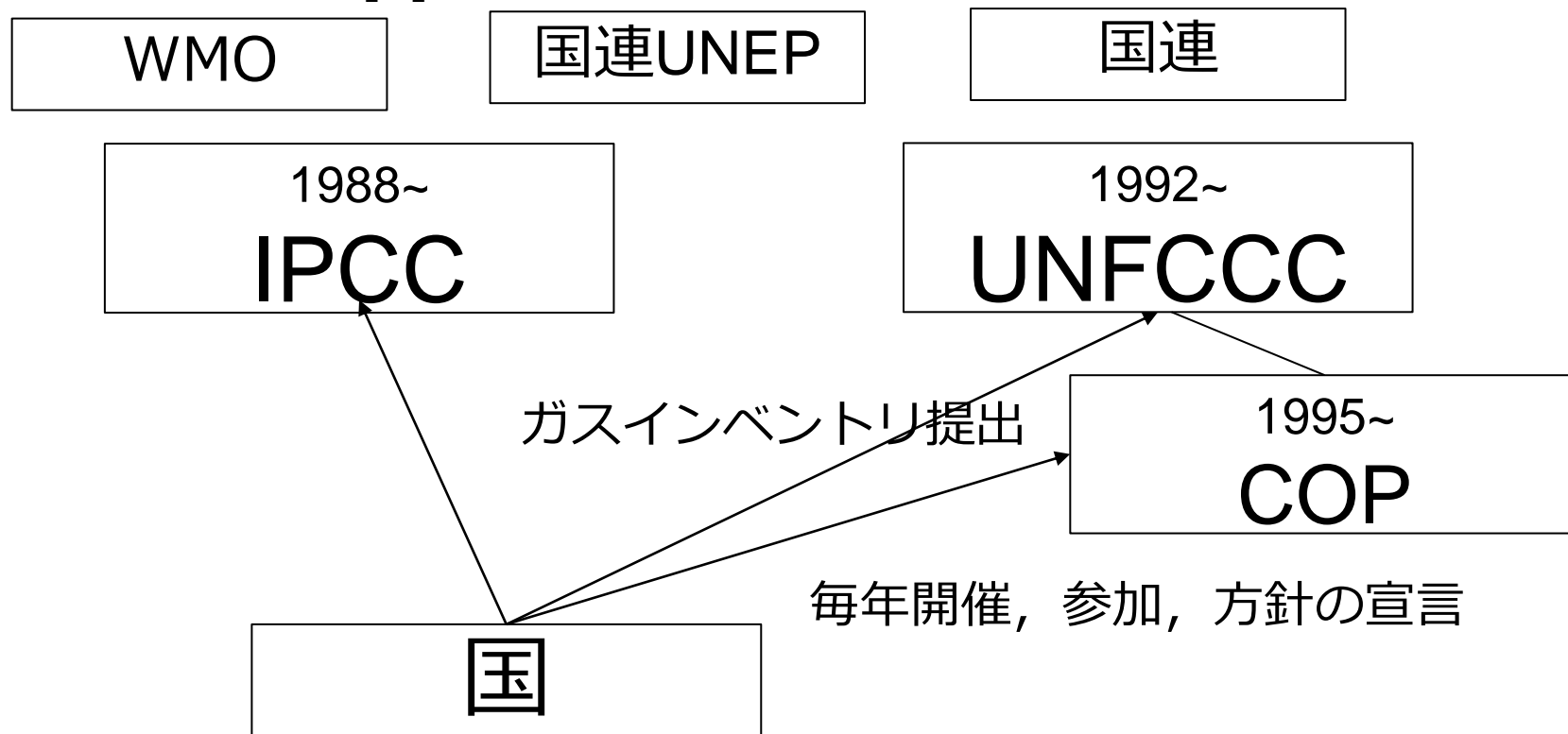
- 1992年温室効果ガス(GHG)の濃度を安定化することを目標に **国連気候変動枠組条約(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)**が締結され、それに基づき、1995年から **国連気候変動枠組条約締結国会議(COP, Conference of Parties)**が毎年開催されている[4]。コロナ禍で1年延期され本年、英国グラスゴーで**COP26**が開催された。岸田首相も出席され、日本の脱炭素方針を世界に発信された。
- 有名なCOP会議の結果として、**1997年COP3における「京都議定書」**、**2015年COP21における「パリ協定」**がある。

- **「パリ協定」**では世界共通の下記の長期目標を定めている[5]。
 - 世界の平均気温上昇を**産業革命以前に比べて2℃より十分低く保ち**、**1.5℃に抑える努力**をする。
 - そのためにできる限り早く世界の温室効果ガス排出量をピークアウトし、**21世紀後半には、温室効果ガス排出量と森林などによるCO2吸収量のバランス**をとる。

2. 国際的な取組み

(3) 国連気候変動枠組条約(UNFCCC)事務局

- 条約締結各国は、毎年各国の温暖化ガスの排出量、吸収量を「**温室効果ガスインベントリ**」としてUNFCCC事務局に提出することとなっている[6].
- 我が国では毎年、**国立環境研究所の温室効果ガスインベントリオフィス**が報告書を作成し、環境省の責任のもと、UNFCCC事務局へ提出されている[7].

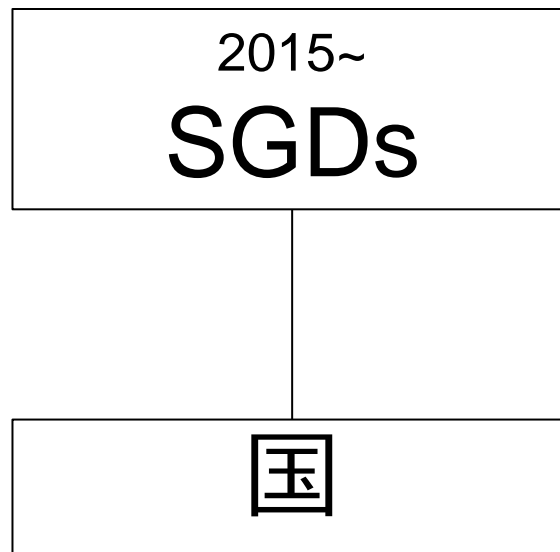


2. 国際的な取組み

(4) SDGsと地球温暖化対策との関係

- SDGs(Sustainable Development Goals)は2015年9月の国連サミットで採択された。国連加盟193か国が2016年から2030年までに達成すべき**17の目標**を定めた。
- 13番目に「**気候変動に具体的な対策を**」が掲げられている[8]

国連



2. 国際的な取組み

(4) SDGsと地球温暖化対策との関係

- SDGs(Sustainable Development Goals)は2015年9月の国連サミットで採択された。国連加盟193か国が2016年から2030年までに達成すべき**17の目標**を定めた。
- 13番目に「**気候変動に具体的な対策を**」が掲げられている[8]

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

世界を変えるための17の目標



3. 我が国の国における取組み

(1) 立法, 行政の取組み

● 地球温暖化対策の推進に関する法律

従来環境問題への法律として、我が国の高度成長時代に公害問題が発生し、その対策として1967年に「**公害対策基本法**」が公布施行されていたが、1993年には「**環境基本法**」に引き継がれた[9][10].

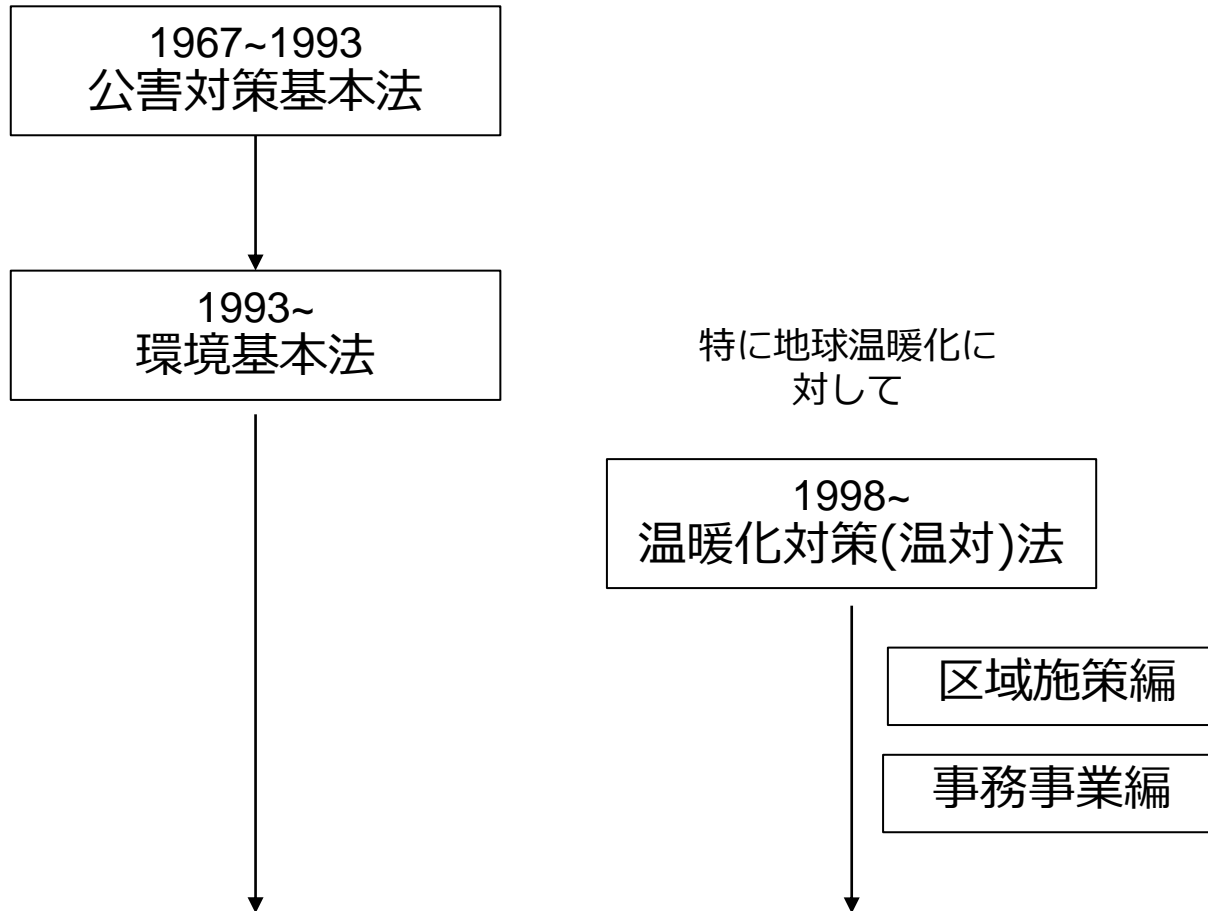
1997年COP3京都議定書のころから地球温暖化の問題が国際的な関心事となってきた.

1998年には「**地球温暖化対策の推進に関する法律**」いわゆる「**温対法**」が制定された[11]. この法律では**国の責務**として温室効果ガスの濃度変化などを観測, 監視し, 総合的な対策を計画策定し実施することとされている. **地方公共団体の責務**として, その区域の温室効果ガスの排出の抑制等のための施策を推進することとされている.

推進にあたっては, 「**地球温暖化対策実行計画（事務事業編, 区域施策編）**」を作成することとなっている. 地方の計画策定を支援する体系が国によって整備されている[12]. **区域施策編**₁₂ [13], **事務事業編** [14]策定用マニュアルが整備されている.

3. 我が国の国における取組み

(1) 立法, 行政の取組み



3. 我が国の国における取組み

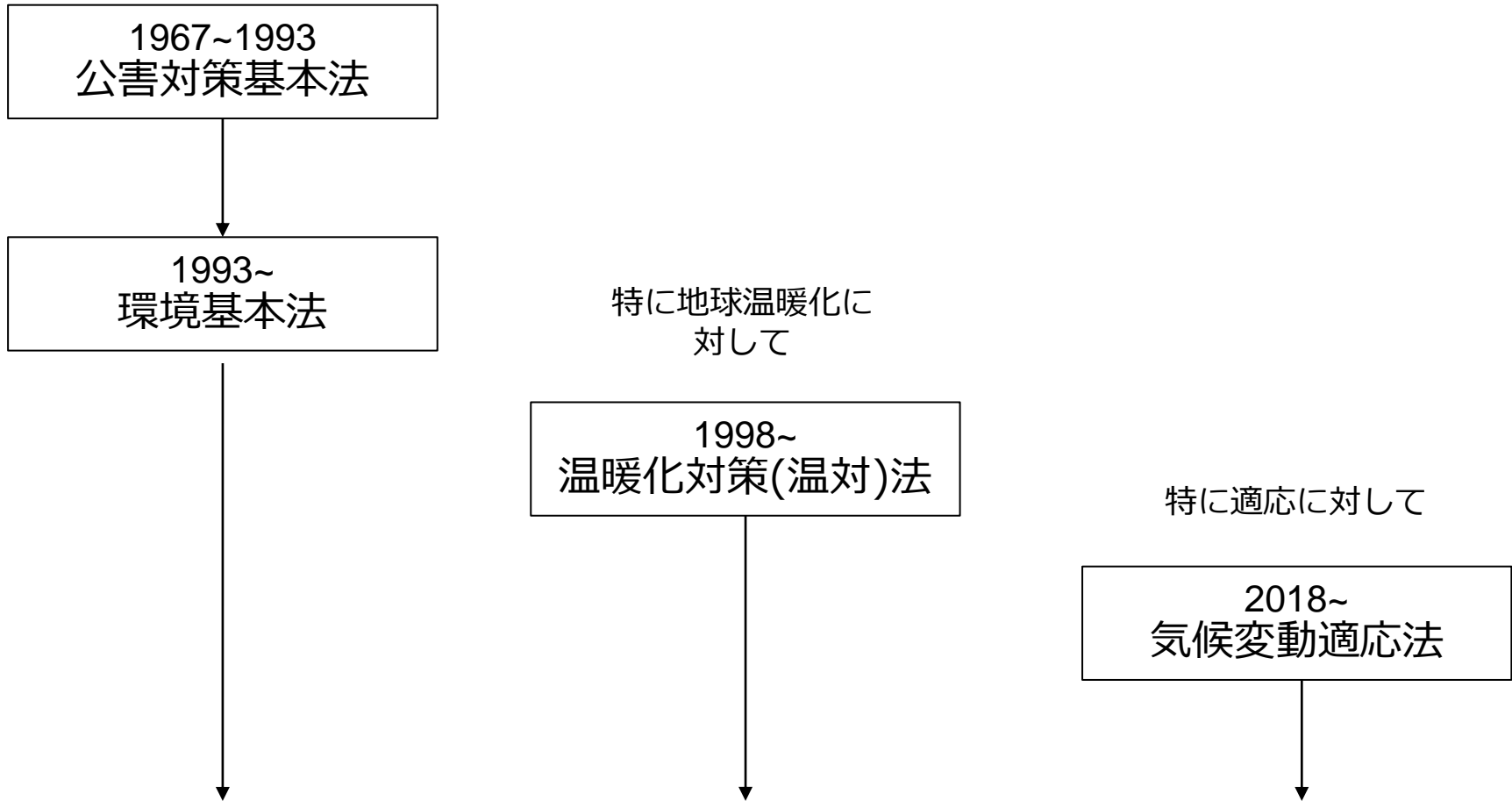
(1) 立法, 行政の取組み

・ 気候変動適応法

気候変動に対してはCO2排出をできるだけ抑制するための「**緩和策**」という考え方と気候変動による弊害を軽減するための「**適応策**」という考え方がある。後者に対しては2018年に「**気候変動適応法**」が公布された[15].

3. 我が国の国における取組み

(1) 立法, 行政の取組み



3. 我が国の国における取組み

(1) 立法, 行政の取組み

・ 2030年, 2050年の目標

2016年「地球温暖化対策計画」が閣議決定された[16].

2021年, 菅前首相は国内の地球温暖化対策推進本部（温対本部）, 及び米国主催で開催された気候サミットにおいて,
我が国の従来の脱炭素目標

[2030年において2013年に比べ温室効果ガス排出量を**26%削減**する]
からさらに目標を引き上げ,

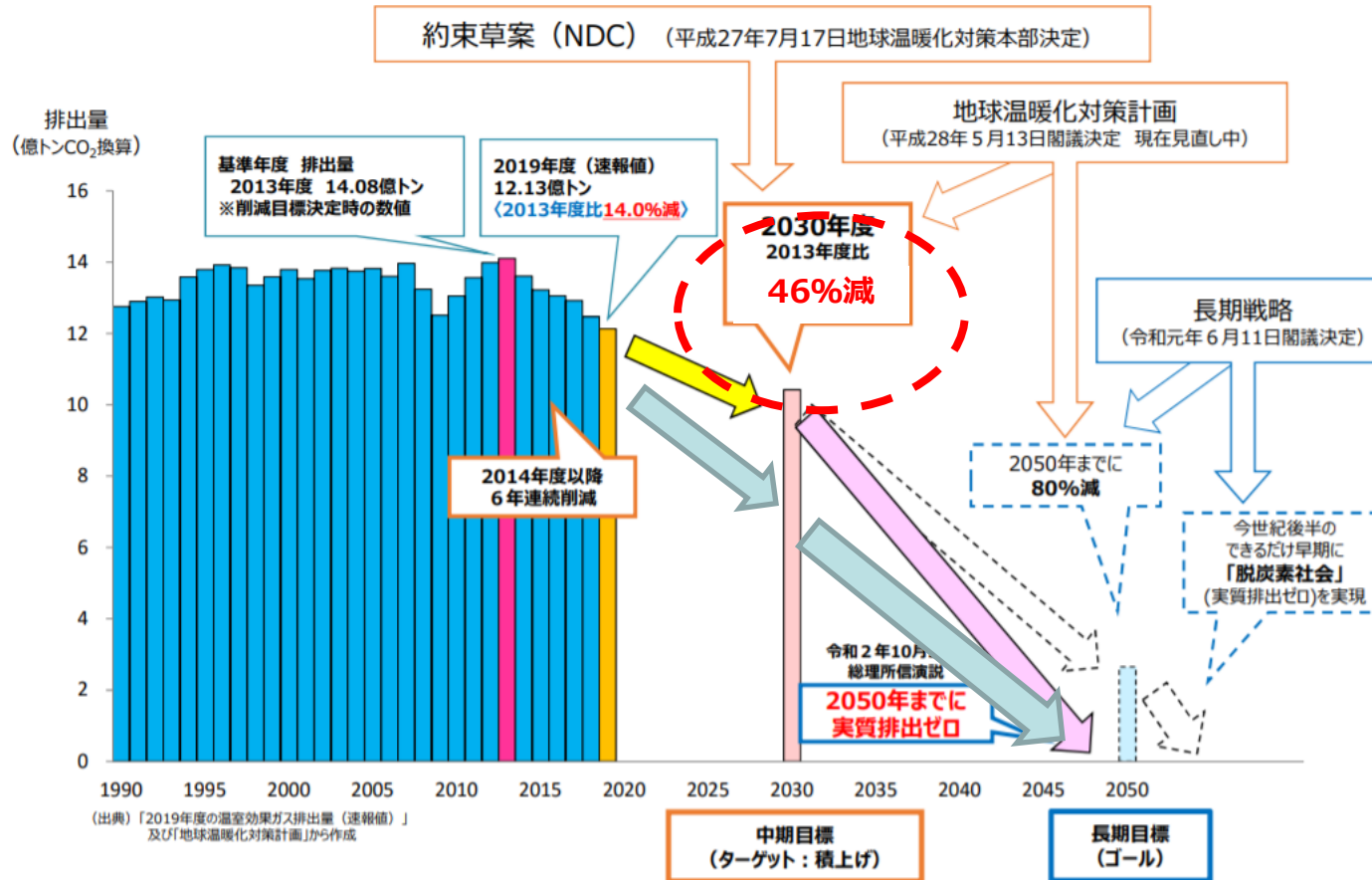
「**2030年において2013年に比べ温室効果ガス排出量を46%削減することを目指す, さらには50%削減へも挑戦する**」
を表明された.

2050年にはCO2排出量は実質ゼロとは.

2段階折れ線状の削減 → 一直線状の削減

3. 我が国の国における取組み

我が国の温室効果ガス削減の中期目標と長期目標



2021年4月22日
菅総理大臣は、政府の地球温暖化対策推進本部の会合
2013年度に比べて46%削減することを目指す
さらには50%の高みに向けて挑戦を続けていく

環境白書に基づき追記

3. 我が国の国における取組み

(1) 立法, 行政の取組み

・地域脱炭素ロードマップ

•上記の目標を達成するために、国および地方は、国・地方脱炭素実現会議を設立し、「**地域脱炭素ロードマップ（案）**」を提示し[17]、脱炭素を推進している。

•今後具体的に最も影響の大きい指針と目される「地域脱炭素ロードマップ」の第3章2節には以下の**8つの重点対策**が挙げられている。

① 屋根置きなど自家消費型の太陽光発電

② 地域共生・地域裨益型再エネの立地

③ 公共施設など業務ビル等における徹底した省エネと再エネ電気調達と更新や改修時のZEB化誘導

④ 住宅・建築物の省エネ性能等の向上

⑤ ゼロカーボン・ドライブ

EV, FCV, PHVなどを普及させる。

⑥ 資源循環の高度化を通じた循環経済への移行

⑦ コンパクト・プラス・ネットワーク等による脱炭素型まちづくり

⑧ 食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立

3. 我が国の国における取組み

(1) 立法, 行政の取組み

•ゼロカーボンシティ宣言

また, 多くの地方公共団体が2050年にCO2排出を実質ゼロにするという「**ゼロカーボンシティ宣言**」を表明している, 国も令和2年度第3次補正予算を組み地方の取組みを支援している[18].

ゼロカーボン実現に必要な再生可能エネルギーの賦存量を推定するシステムが地方への国の技術的支援システム**REPOS**として用意されている[19].

•エコカー補助金

自動車の脱炭素を推進する施策として「エコカー補助金」がある[20]

.

3. 我が国の国における取組み

(2) 国レベルでの温室効果ガスの観測

温室効果ガスの観測体制としては、国内の陸上CO₂濃度観測に限れば

,

- 気象庁(JMA)管轄で3か所 (**岩手県綾里, 与那国島, 南鳥島**) [21],
- 国立環境研究所(NIES)管轄では,
 - 周回人工衛星**GOSAT** (ただし全世界, 陸上, 海上) [22],
 - 陸域モニタリング3か所 (**富士北麓, 天塩, 苫小牧**) [23],
 - 地上ステーションモニタリング4カ所 (**波照間島, 北海道落石岬, 富士山頂, 東海大学代々木**)

において, CO₂他の観測が行われている[24].

気象庁などのCO₂観測は

高精度 (15分安定性, 再現性0.02ppm以下)

である. ただしCO₂濃度研究に用いることができるリアルタイムデータは非常に限定されている.

3. 我が国の国における取組み

(2) 国レベルでの温室効果ガスの観測

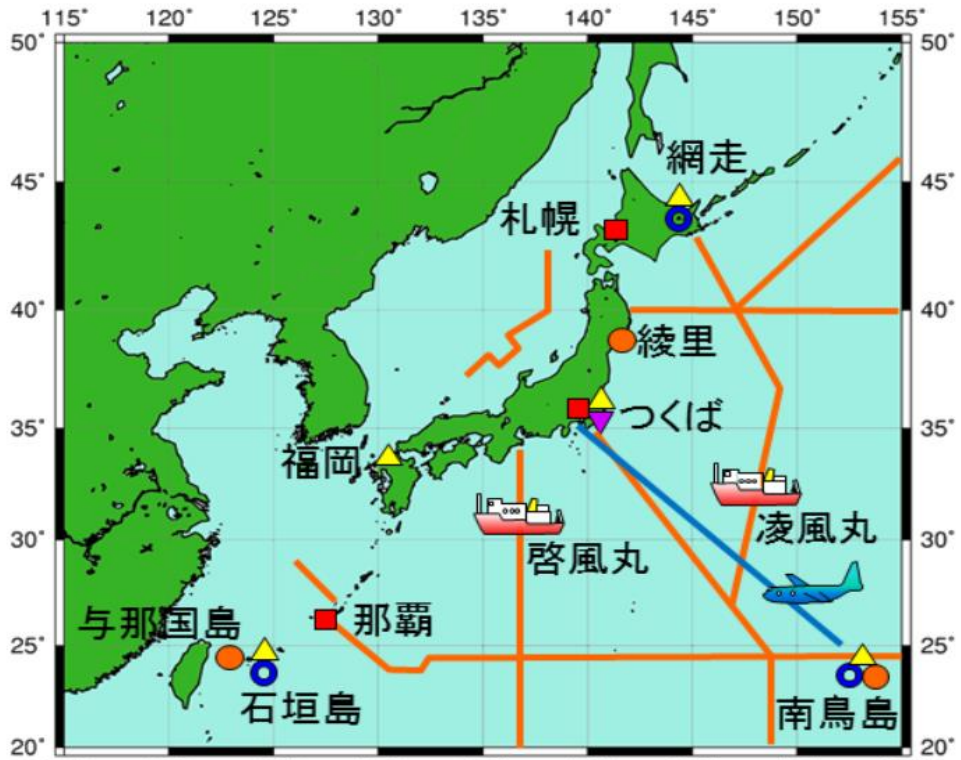
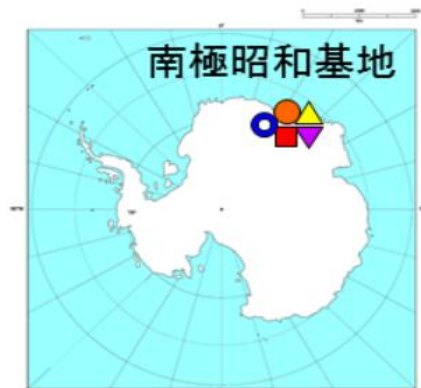
- 気象庁(JMA)管轄で3か所（**岩手県綾里**，**与那国島**，**南鳥島**） [21]，
気象庁（JMA）の定点CO2濃度観測

https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ghg_obs/kansoku/method_co2.html

気象庁が行っている環境気象観測

環境気象観測網

- 温室効果ガス等の観測
- 観測船で観測を行う航海コース
- 航空機で観測を行う飛行コース
- エーロゾルの観測
- ▲ 日射放射観測
- オゾン層観測
- ▼ 紫外域日射観測



3. 我が国の国における取組み

(2) 国レベルでの温室効果ガスの観測

- 気象庁(JMA)管轄で3か所（**岩手県綾里**，**与那国島**，**南鳥島**）[21]，



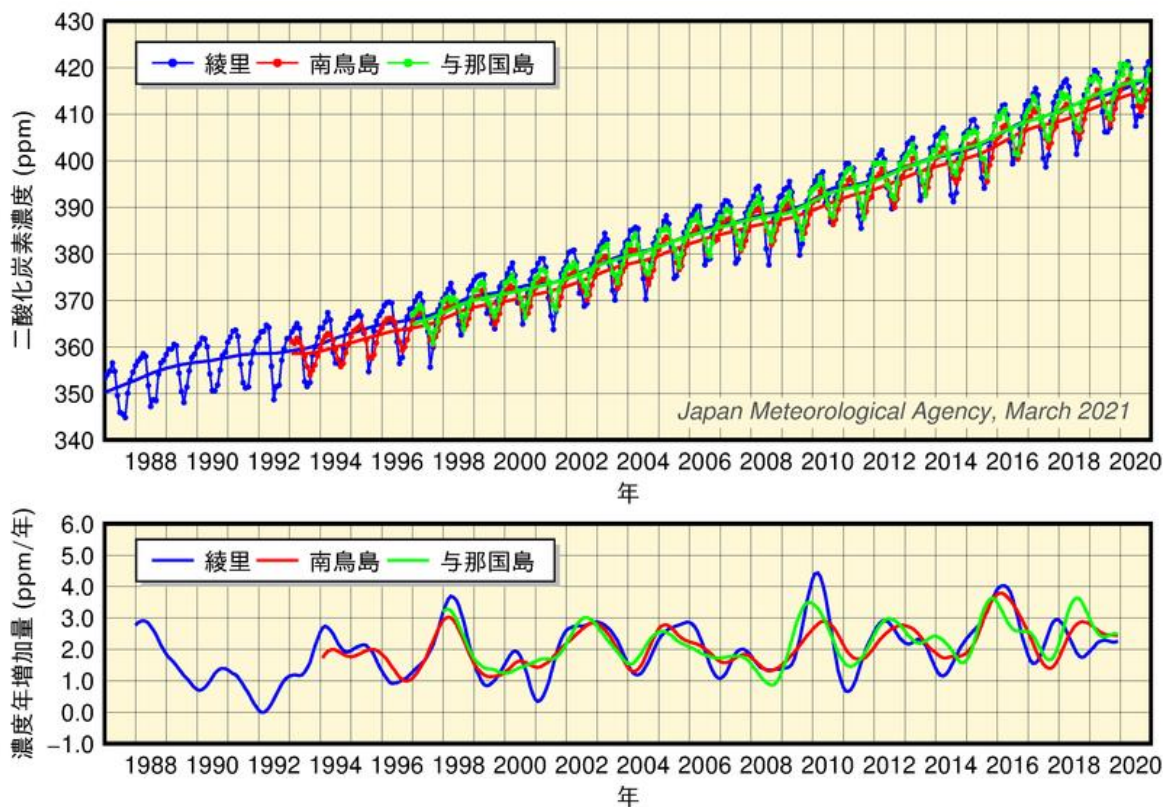
後ろに並ぶガスボンベに保存された標準ガスで自動的に較正

LI-COR社製 LI7000
1台数百万円

3. 我が国の国における取組み

(2) 国レベルでの温室効果ガスの観測

- 気象庁(JMA)管轄で3か所（**岩手県綾里**，**与那国島**，**南鳥島**） [21]，
 - 気象庁（JMA）の定点CO₂濃度観測
 - 気象庁の観測点における二酸化炭素濃度及び年増加量の経年変化
 - https://www.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html



3. 我が国の国における取組み

(2) 国レベルでの温室効果ガスの観測

GOSAT (いぶき)

「いぶき」の観測データに基づく全大気中の月別二酸化炭素濃度速報値 (2021年11月18日アクセス, 前月までのデータ)

<http://www.gosat.nies.go.jp/recent-global-co2.html>

「いぶき」の観測データに基づく
全大気中の月別二酸化炭素濃度 速報値

最新の月別二酸化炭素全大気平均濃度
2021年10月 **413.6 ppm**

最新の二酸化炭素全大気平均濃度の推定経年平均濃度値^(注1)
2021年10月 **414.7 ppm**

過去1年間で増加した二酸化炭素全大気平均濃度 (年増加量)^(注2)
2021年10月 - 2020年10月 **2.6 ppm/年**

(注1) 観測値から平均的な季節変動を取り除いたものが推定経年平均濃度です。ある月の推定経年平均濃度値はその前後半年の1年間の平均値とほぼ同じ値を示します。なお、新たに月平均濃度値が追加されると季節変動が変化し、過去の推定経年平均濃度値が微妙に変わることがあります。

(注2) 年増加量とは、推定経年平均濃度の1年間の増加量のことを言います。

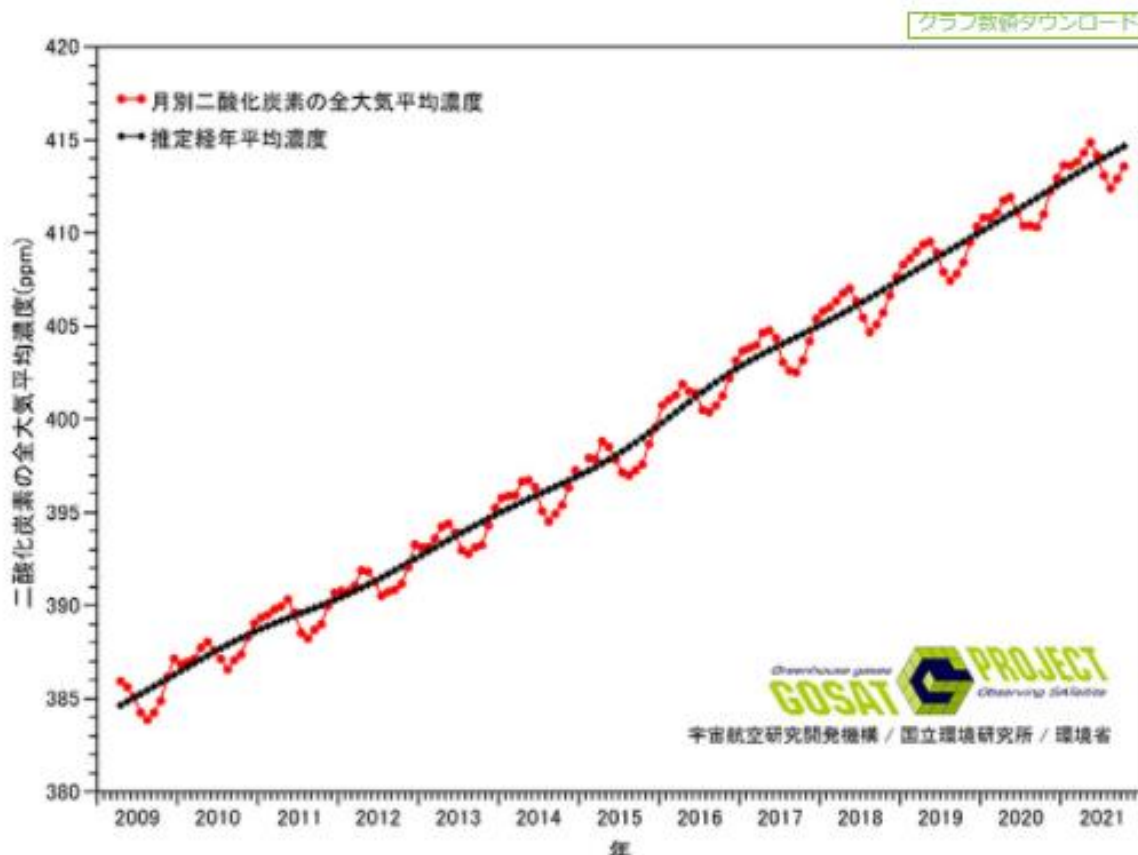
3. 我が国の国における取組み

(2) 国レベルでの温室効果ガスの観測

GOSAT (いぶき)

「いぶき」の観測データに基づく全大気中の月別二酸化炭素濃度速報値 (2021年11月18日アクセス)

<http://www.gosat.nies.go.jp/recent-global-co2.html>



3. 我が国の国における取組み

(2) 国レベルでの温室効果ガスの観測

NIES (国立環境研究所) 地上ステーション

<https://db.cger.nies.go.jp/portal/geds/atmosphericAndOceanicMonitoring>



波照間ステーション ([クイックプロット](#)、数値データ ([CO₂](#)、[CH₄](#)、[N₂O](#)) (ユーザ登録不要)



落石岬ステーション ([クイックプロット](#)、数値データ ([CO₂](#)、[CH₄](#)、[N₂O](#)) (ユーザ登録不要)



富士山頂 ([クイックプロット](#)、数値データ ([CO₂](#)) (ユーザ登録不要)



東海大学代々木キャンパス (数値データ([CO₂ \(NIES\)](#))、[CO](#)、[CO₂ \(AIST\)](#)、[O₂](#)、[CO₂フラックス](#)) (ユーザ登録不要)

3. 我が国の国における取組み

(2) 国レベルでの温室効果ガスの観測

NIES (国立環境研究所) 陸域モニタリング

<https://db.cger.nies.go.jp/portal/geds/terrestrialMonitoring>



富士北麓フラックス観測サイト ([クイックプロット](#)、[数値データ \(ユーザ登録\)](#))

正味生態系炭素交換量、CO₂フラックス、CO₂貯留量、CO₂濃度、顕熱フラックス、潜熱フラックス、気温、相対湿度、風向、風速、気圧、全天日射、長波放射、正味放射量、光合成有効光量子束密度、降水量、地温、土壌水分、地流熱量等



天塩サイト ([クイックプロット](#)、[数値データ \(ユーザ登録\)](#))

CO₂濃度プロファイル、気温、湿度、風向、風速、気圧、全天日射、分光放射、光合成有効放射、地温、土壌水分、地流熱量等



苫小牧フラックス観測サイト ([クイックプロット](#)、[数値データ \(ユーザ登録\)](#))

正味生態系CO₂交換量、CO₂フラックス、顕熱フラックス、潜熱フラックス、気温、相対湿度、風向、風速、気圧、降水量、全天日射、長波放射、正味放射量、光合成有効光量子束密度、地温、土壌水分、地中熱流量、等

3. 我が国の国における取組み

(3) 国レベルでの民間の取組み（技術分野）

- 多くは国家プロジェクトの一環として、公的機関との連携での技術研究開発であるが、脱炭素関連の革新技术が研究開発されている[25].

- 中でも早期に効果が期待できる技術として、火力発電所や化学プラントの排気ガスからCO₂を固定化する技術

CCS(Carbon dioxide Capture and Storage),

CCUS(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)や

空気中から直接CO₂を吸収する**DAC**(Direct Air Capture)技術,

水素活用技術,

メタネーション技術などが注目される.

- 個人レベルでは、従来からは普及しつつあるし[26], 建物における省エネを目的とした考えとして,

ZEH(Zero Emission House)[27] , **ZEB**(Zero Emission Building)[28]や家庭用, 業務用の**燃料電池**も普及しつつある[29].

- また, 企業内で消費するエネルギーのすべてを再生可能エネルギー由来に転換することを目標とする**RE100**の取組みもある[30].

3. 我が国の国における取組み

(4) 国レベルでの民間の取組み（経済，財務分野）

- 脱炭素に向けての民間の取組みの1つが**ESG投資**である。ESGは環境(Environment), 社会(Social), ガバナンス(Governance)を意味し, ある企業がこの3つの面での活動を公開することにより, 投資家が投資対象として判断する要素とする。それにより, 民間企業の環境（脱炭素も含め）への意識と活動を高めることである。国連においても投資原則にESGの視点を組み入れることを求めている[31].

- 類似の取組みが気候関連財務情報開示タスクフォース**TCFD**(Task Force on Climate-related Financial Disclosure)である[32].

4. 我が国の地方における取組み

(1) 地方における行政の取組み

●地球温暖化対策地方公共団体実行計画

- 多くの地方公共団体，特に小規模団体では，従来の**地方の問題（人口減少，少子高齢化，地方経済の活性，地方創生など）**の**解決策の1つ**としても脱炭素施策を検討している。地方としてもっともな考え方であろう。
- 3.(1)で述べたように，各地方公共団体は，脱炭素計画として「**地球温暖化対策実行計画（事務事業編，区域施策編）**」を作成することとなっている。
- 都道府県，指定都市，中核市，特例市は区域施策編を**作成することが義務**となっている（温対法第21条第3項）。
- 上記以外の地方公共団体では**策定に努力する**こととなっている[33]。

- ただしいずれも，実行計画の更新頻度については規定されていないので**最新版でも数年遅れ**となっている。

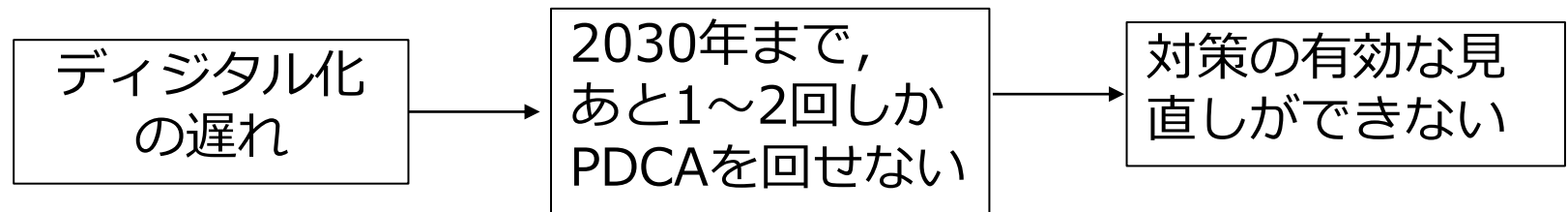
4. 我が国の地方における取組み

(1) 地方における行政の取組み

●地球温暖化対策地方公共団体実行計画

●我々のサンプル的な調査において実行計画を毎年作成している市町村はほとんど無いようである。データ入力についても、国の計算支援システムはある[34][35]ものの、手作業による操作を多く必要とし、この面での**デジタル化は遅れている**と言わざるを得ない。

●デジタル化遅れの弊害としての懸念は、2030年または2050年にむけて、この比較的未知の要素が多い地球温暖化の問題に対して、**試行錯誤的対策を打っていかねばならない事情**であるにも関わらず、数年に1回といったPDCAサイクルでは、**有効な対策を探り当てるのに時間がかかりすぎる懸念がある。**



4. 我が国の地方における取組み

(1) 地方における行政の取組み

•各種の補助施策

•地方公共団体では、地球温暖化対策実行計画の策定と共に、民間に対して、補助施策を行っている。

例えば、

- ZEH新築住宅や
- 自家用太陽光発電パネルの設置に対する補助や
- エコカー補助(国)[20]

などである。

4. 我が国の地方における取組み

(2) 地方における温室効果ガスの観測

・首都圏，埼玉県

地方公共団体における温室効果ガスの観測では、首都圏では埼玉県の2か所（**堂平山，騎西**）で、**気象庁相当精度でのCO₂観測**がなされている。

（ガスボンベに入った標準濃度CO₂ガスによる自動校正）
（タワーからの空気取り入れ）

リアルタイムデータとして、**1時間ごとのCO₂濃度を公開**している騎西観測所が稀有の存在であり、CO₂濃度研究にとって、ありがたい観測データである[36]

他の地方公共団体

でも研究用としてCO₂観測がなされているが、観測値を公開している観測所は非常に限定されている。

4. 我が国の地方における取組み

(2) 地方における温室効果ガスの観測

・埼玉県

二酸化炭素濃度観測検定システム

<https://www.pref.saitama.lg.jp/cess/torikumi/shokai/ondankag.html>



二酸化炭素濃度観測検定システム



大気二酸化炭素試料採取塔

4. 我が国の地方における取組み

(2) 地方における温室効果ガスの観測

・首都圏，埼玉県

<http://www.kankyou.pref.saitama.lg.jp/CO2/img2/co2ppm1.txt>



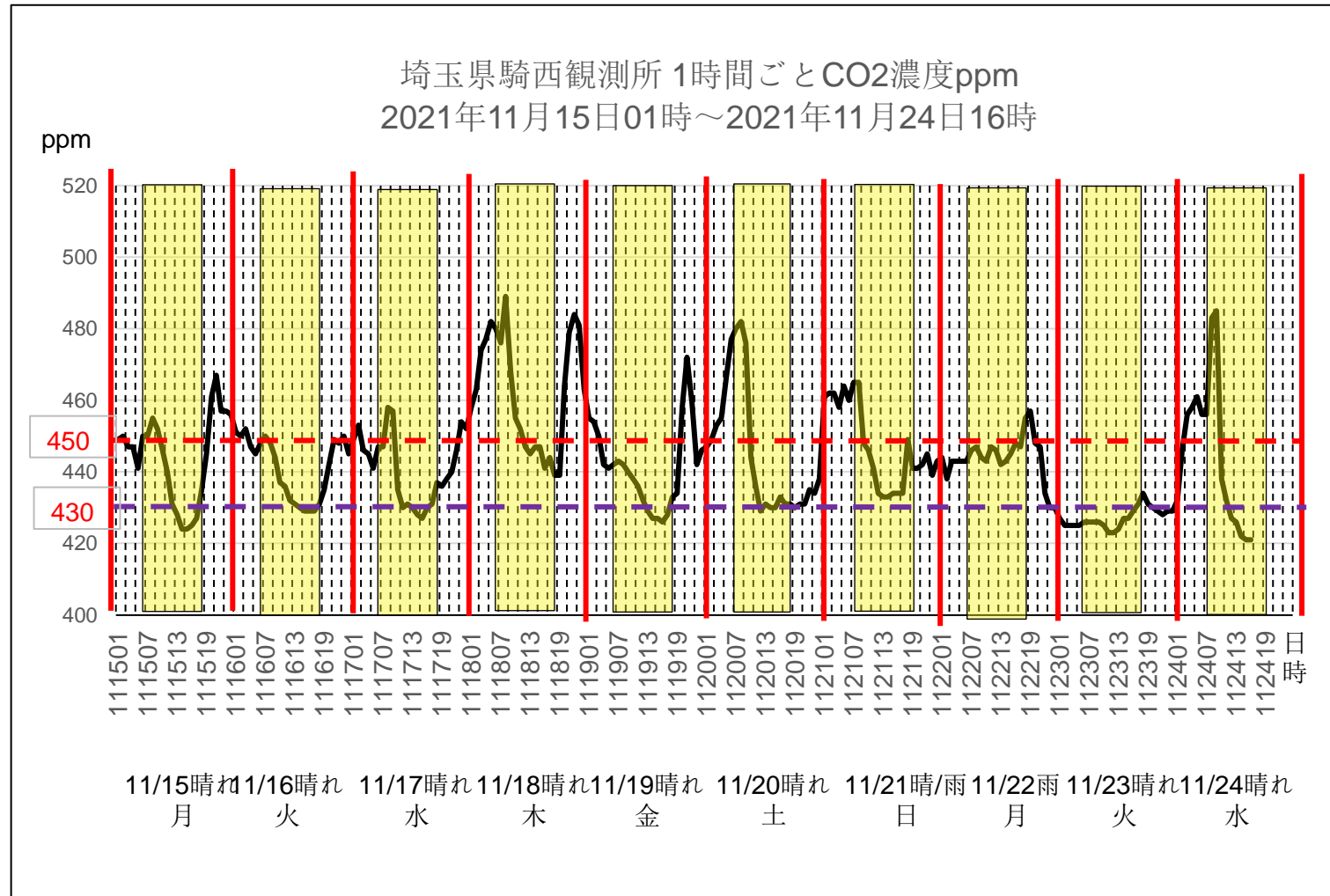
この数値は、1時間平均値（速報値）です。後日、修正されることがあります。

2021/11/18	01:00	458ppm
2021/11/18	02:00	463ppm
2021/11/18	03:00	474ppm
2021/11/18	04:00	477ppm
2021/11/18	05:00	482ppm
2021/11/18	06:00	480ppm
2021/11/18	07:00	476ppm
2021/11/18	08:00	489ppm
2021/11/18	09:00	468ppm
2021/11/18	10:00	455ppm
2021/11/18	11:00	452ppm
2021/11/18	12:00	447ppm
2021/11/18	13:00	445ppm
2021/11/18	14:00	447ppm
2021/11/18	15:00	447ppm
2021/11/18	16:00	441ppm
2021/11/18	17:00	444ppm
2021/11/18	18:00	439ppm
2021/11/18	19:00	439ppm
2021/11/18	20:00	464ppm
2021/11/18	21:00	479ppm
2021/11/18	22:00	484ppm
2021/11/18	23:00	481ppm
2021/11/18	24:00	***ppm

4. 我が国の地方における取組み

(2) 地方における温室効果ガスの観測

・ 騎西データの活用（1）



4. 我が国の地方における取組み

(2) 地方における温室効果ガスの観測

・ 騎西データの活用（2） 疑似truenessへの応用

Truenessについて

- ・ 正確なTruenessについては、標準ガスをもちいた較正の手続きを行う必要がある（気象庁、埼玉県騎西では行っている）
- ・ 本システムでは、この方法はとらない（設備、コストの関係で）
- ・ では、どういう方法で本システムのtruenessを考えるか

・ 疑似的trueness (pseudo trueness)という考えを提案する

・ 前提

標準ガスの代わりに利用できる唯一のデータは埼玉県騎西の1時間ごとデータである（その他は検討の結果利用できないと判断）

・ 仮定

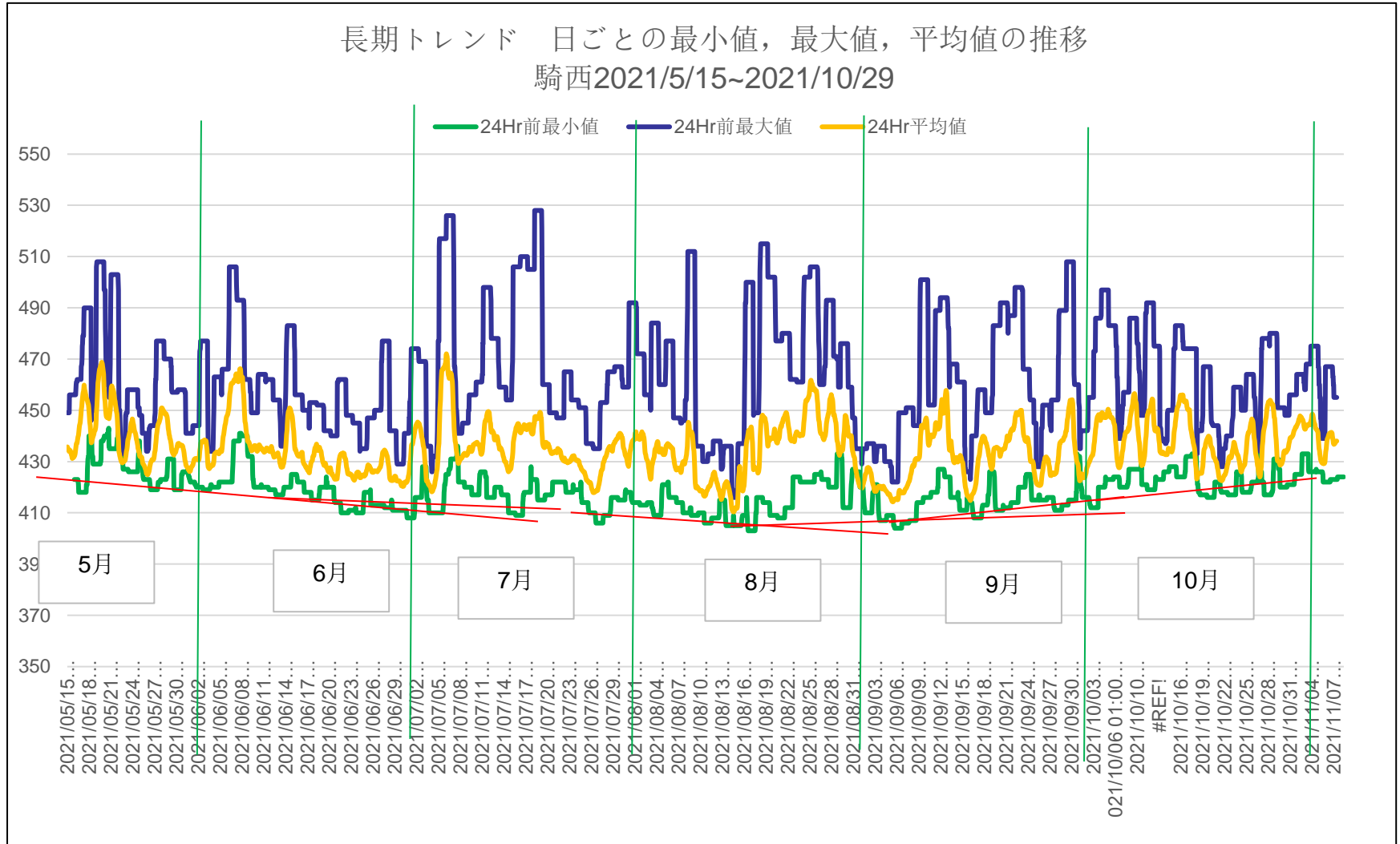
・ 日本全体、関東、において1年程度の長期的トレンド（CO2濃度の上昇）は同等と仮定する

・ **長期的トレンドはある期間の最小値に現れる**

・ 最小値のほかに、平均値も利用できる可能性がある

Truenessについて

- ・ 長期的トレンドはある期間の最小値に現れる

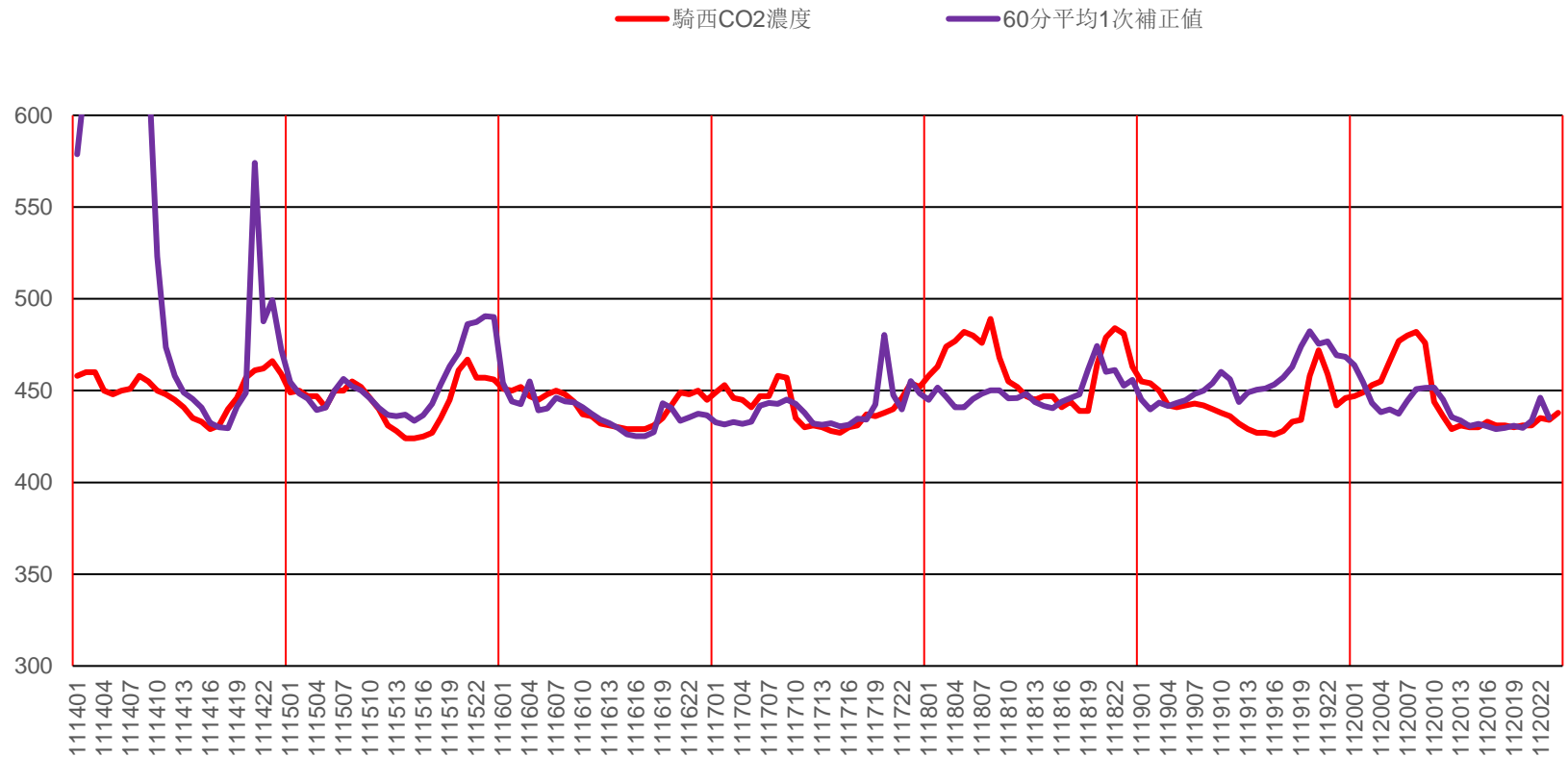


4. 我が国の地方における取組み

(2) 地方における温室効果ガスの観測

・ 騎西データの活用（2） 疑似truenessへの応用

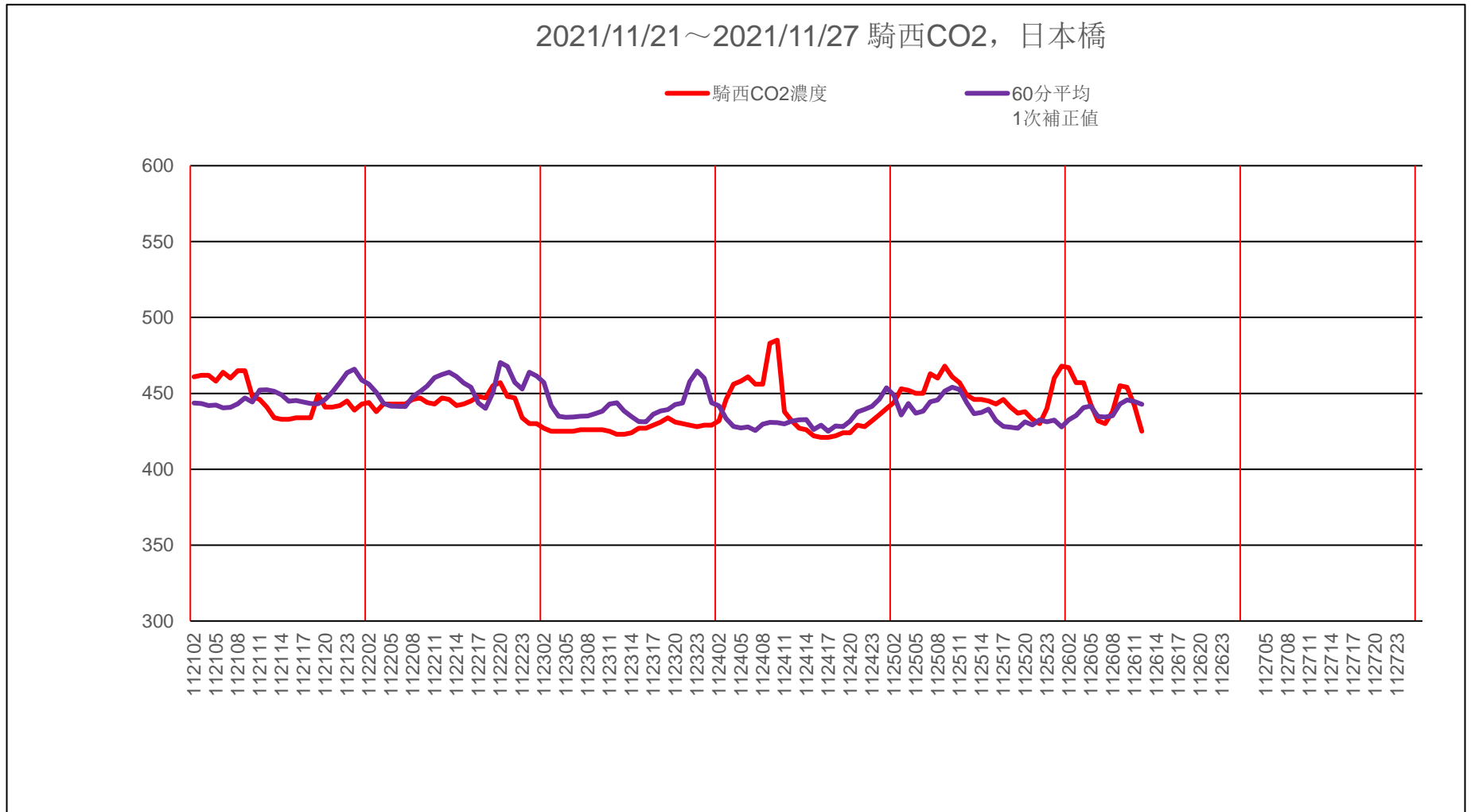
2021/11/14～2021/11/20 騎西CO2, 日本橋



4. 我が国の地方における取組み

(2) 地方における温室効果ガスの観測

・ 騎西データの活用（2） 疑似truenessへの応用



4. 我が国の地方における取組み

(2) 地方における民間の取組み

・住宅，自家用太陽光発電，自動車

•住宅分野では，各地方における民間の取組みとして，**個人住宅における太陽光発電パネル**の設置[24]，**断熱性能が高くエネルギー消費の少ない住宅**，さらには**ZEH**，暖房における脱炭素効果の向上を狙った**燃料電池**（商品名例：エネファーム），地中熱を利用した**ヒートパイプ**，**ヒートポンプ**の利用，**太陽熱**の利用が推進されている。

•個人住宅は，その**数が膨大**であるため，各個人住宅に，例えば太陽光発電パネルが普及すれば，脱炭素に対して，**大きい効果**が期待できる。前述のロードマップでも対策の1番目に掲げられていることでも重要性が理解できる[17]。

•自動車分野では，個人自動車からの燃費削減やCO2排出量削減を狙った**ハイブリッド車(HV)**，**燃料電池車(FCV)**，**電気自動車(EV)**，**プラグインハイブリッド車(PHV)**と複数の選択肢があり，特にHVはかなりの普及となっている（2017年新車販売台数の約32%）[37]。

5. 我々の取組み

(1) 環境・データ勉強会の実施

- 地球温暖化問題に関心がある有志で、**一般社団法人近未来ビジネスコラボ協会**[38]の活動の一環として、約半年の準備期間を経て2021年3月から8月にかけて14回のZoomによる「**環境・データ勉強会**」を行った[39]。特にデータがどのように処理されているかという観点からの勉強会であった。教材に用いた資料は、環境白書をはじめ、ほとんどWebで公開されている資料であった。現在、法律の全文がWeb公開されている。
- 特に、地方公共団体で作成している「**地球温暖化対策実行計画（区域施策編）**」によって、現状の各市区町村で行われている計画策定計算方法とそのフォローの現実について、理解を深めることができた。
- ここで感じた点は、PDCAサイクルが数年にわたる長い周期で行われ、その理由として上記の法律全文Web公開の現実とは反対に、**業務のデジタル化が遅れている**ことに気づいた。ここは大いに改善の余地のある部分である。
- 例えば、**毎月のその市区町村の区域内で、電力会社からは電力消費量、そのうち再生可能エネルギーの分、燃料会社からは燃料種別ごとの区域内での販売量を報告してもらえば**、毎月の単位で、CO2排出量の計算が概略できる。それによりPDCAサイクルを数年の単位から月の単位に短縮できる。そのような取組みをしている市区町村を見つけることはできなかった。
- この勉強会を通じて、脱炭素施策（地球温暖化対策）に関する技術的専門知識を向上することができた。

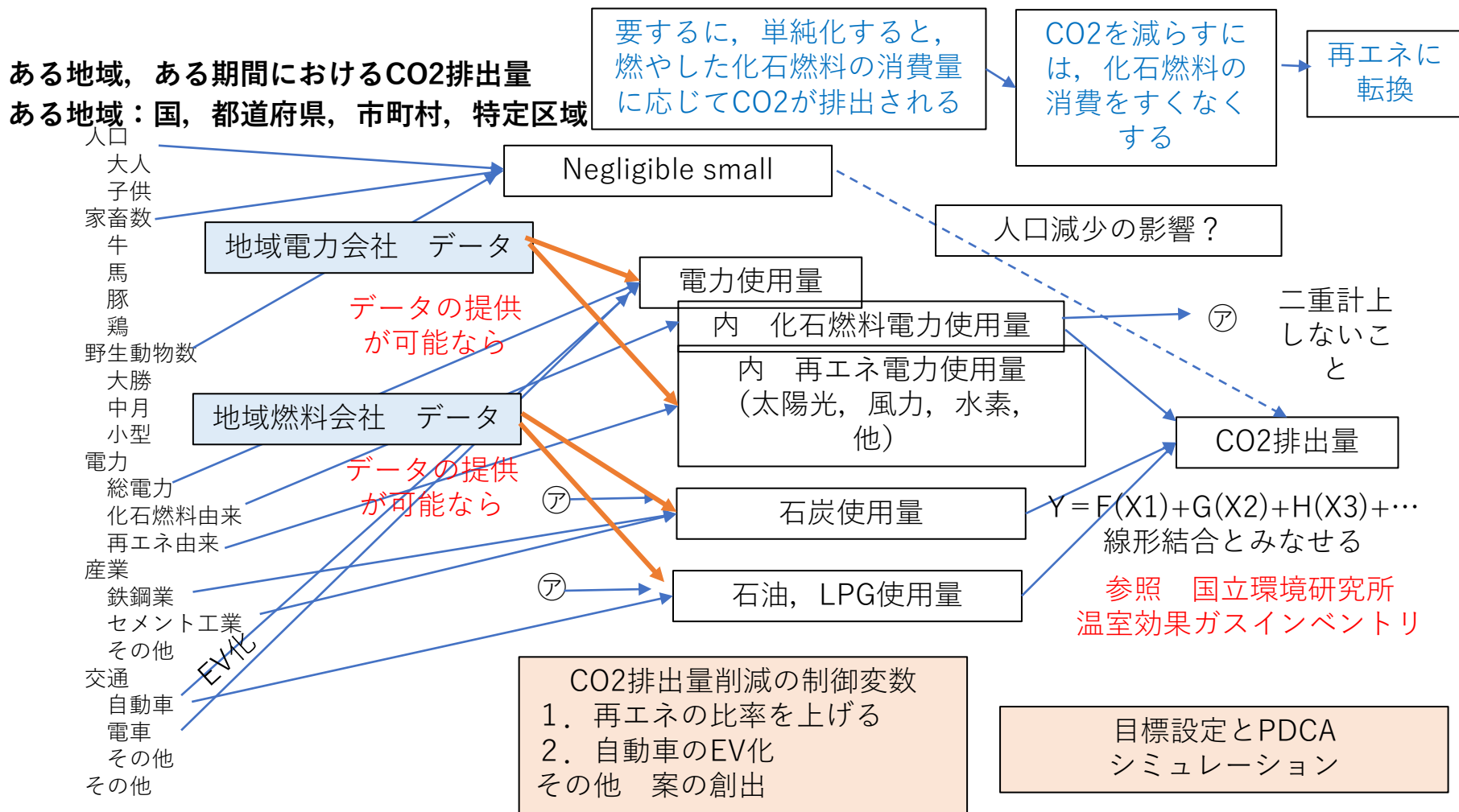
5. 我々の取組み

(1) 環境・データ勉強会の実施

- 例えば、**毎月のその市区町村の区域内で、電力会社からは電力消費量、そのうち再生可能エネルギーの分、燃料会社からは燃料種別ごとの区域内での販売量を報告してもらえれば**、毎月の単位で、CO2排出量の計算が概略できる。
- 関連する会社の協力とデジタル化を推進することにより実現可能

5. 我々の取組み

脱炭素 単純化モデル (私案)



5. 我々の取組み

脱炭素 単純化モデル (私案)

主旨：主因に着目，マクロに把握，集計の容易化，PDCAを年から月へ短縮

ある行政単位 (地域) 内における (市町村)

エネルギー (電力)
電力会社からのデータ

月ごとの消費電力量合計 T KWH

消費者が当該地域

法人の場合，誤差あり

うち再エネ電力量(買電) 合計 R KWH
(太陽光，風力，小水力，地熱)

月ごとの再エネ以外消費電力量合計 T-R KWH

電源種別ごと比率

石油火力比率 o (T-R) $\times o = O$ KWH

石炭火力比率 c (T-R) $\times c = C$ KWH

LPG火力比率 l (T-R) $\times l = L$ KWH

原子力比率 a (T-R) $\times a = A$ KWH

通常水力比率 w (T-R) $\times w = W$ KWH

エネルギー (熱)
ガス会社からのデータ
都市ガス，プロパンガス

月ごとの消費燃料委合計 G KL

エネルギー (熱)
燃料会社からのデータ
産業用石油，石炭，コークス

当地区内の産業で消費される

月ごとの消費石油量合計 IK KL

月ごとの消費石炭・コークス量合計 IC Kton

それぞれの単位消費量あたりのCO2排出量を係数として
積和をもとめて，
当該時域の月ごとのCO2排出量とする

地区内ガソリンスタンド
燃料会社からのデータ

月ごとの消費ガソリン量合計 K1 KL

月ごとの消費軽油量合計 K2 KL

月ごとの消費重油量合計 K3 KL

月ごとの消費灯油量合計 K4 KL

温暖化対策立案，実績評価，シミュレーション，見直し

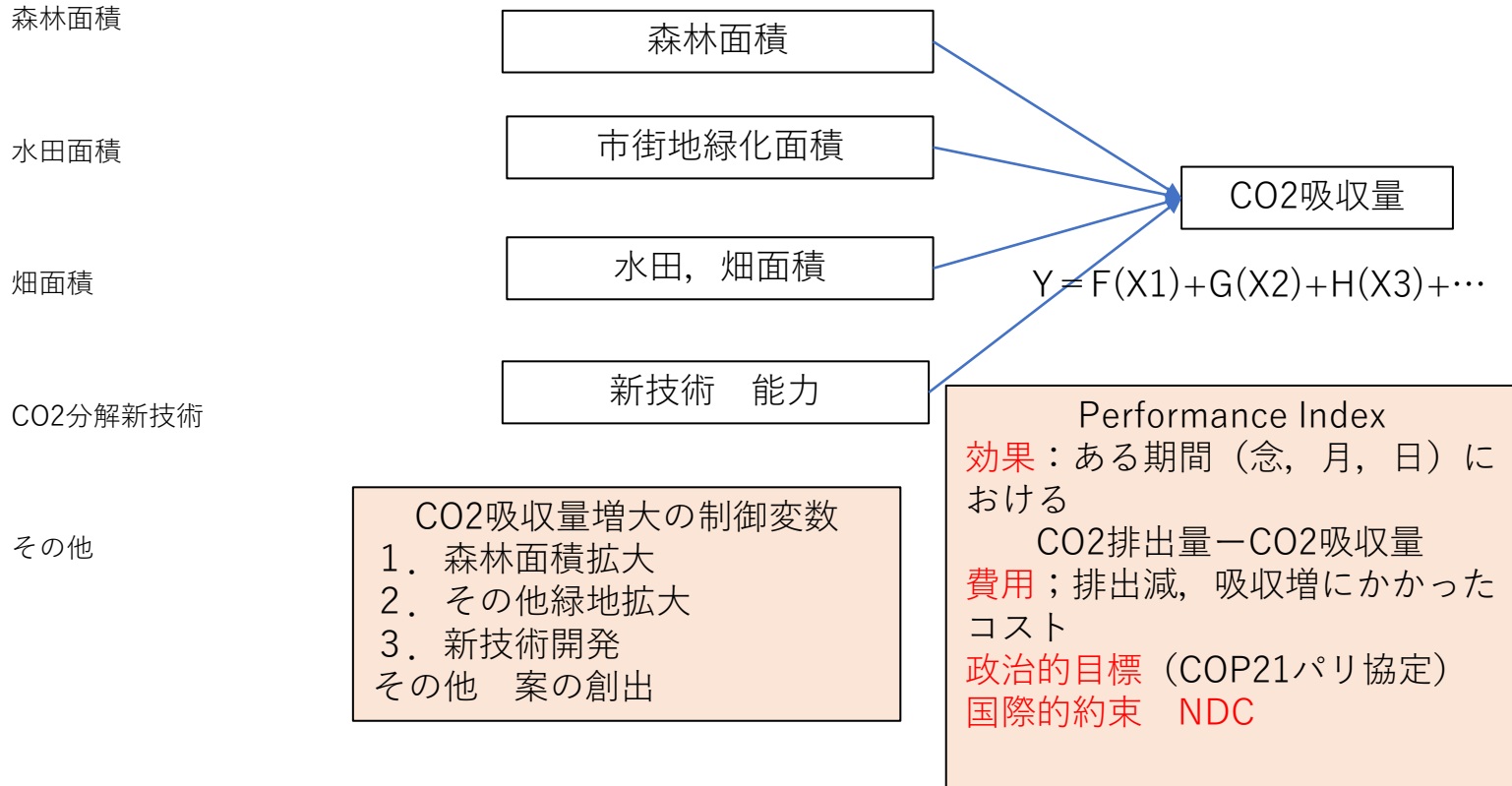
地区内焼却所
市町村からのデータ

月ごとの焼却量合計 T KTon

5. 我々の取組み

脱炭素 単純化モデル (私案)

ある地域, ある期間におけるCO2吸収量



5. 我々の取組み

(2) 精密CO2濃度計測システムの開発

- 3.(2)や4.(2)で述べたように、**CO2濃度の観測点がきわめて少なく**，国をあげての脱炭素に向かう姿としては、はなはだ心元ない印象を受けた。
- CO2濃度の観測点が少ない理由として、各種の理由があるが、特に観測の精度を高めるためには、**かなり大がかりな設備が必要**となる点である。
- 我々は、上記(1)の協会の活動とは別に、一般市販のCO2センサ（カタログ値の精度30ppm，1万円前後）を用いて、**手軽に**，可能な限り精度を高めるシステムを検討しプロトタイプとして開発した。JIS Z8402-1[40]の定義での**精度(precision)**の目標を、大気安定時には0.3ppm以下と定めた。

真度(trueness)については、目標としては数ppm以下に設定した。目標達成の成否は後述する。

- 開発にあたってのコンセプトは**オープン（公開）性**である。我々の処理方法の詳細を公開し、それよりもさらによい方法があれば、採用し改善するという方針である。それによる効果として、この方式（市販センサを用いた低コストで可能な限りの高精度のCO2濃度計測という範囲で）が誰もが実装でき、その結果として**考え得るベストな方式であることを狙っている**。
- 以下にこのシステムの概要を示す。

5. 我々の取組み

(2) 精密CO2濃度計測システムの開発

・システムの名称

高精度（または脱炭素対応）CO2濃度計測システム

・システムの用途

室内ではなく、測定地点での**外気のCO2濃度を測定**する。地球温暖化への対策に使えることを目指す。また、ある程度の知識と電子工作に興味のある多くの人が**自作でき、自ら改善**ができるシステムを目指す。

・システムの目標精度と達成状況

前述のとおり、**precision**については、外気安定時において0.3ppm以下であることを目標として、達成した。

一方**trueness**については、目標としては数ppm以下としたが、厳密には気象庁が行っているような標準ガスによる較正が必要となり、大がかりな設備が必要となるため、実現方法または近似方法については、検討中で今後の課題である。

・システム機能

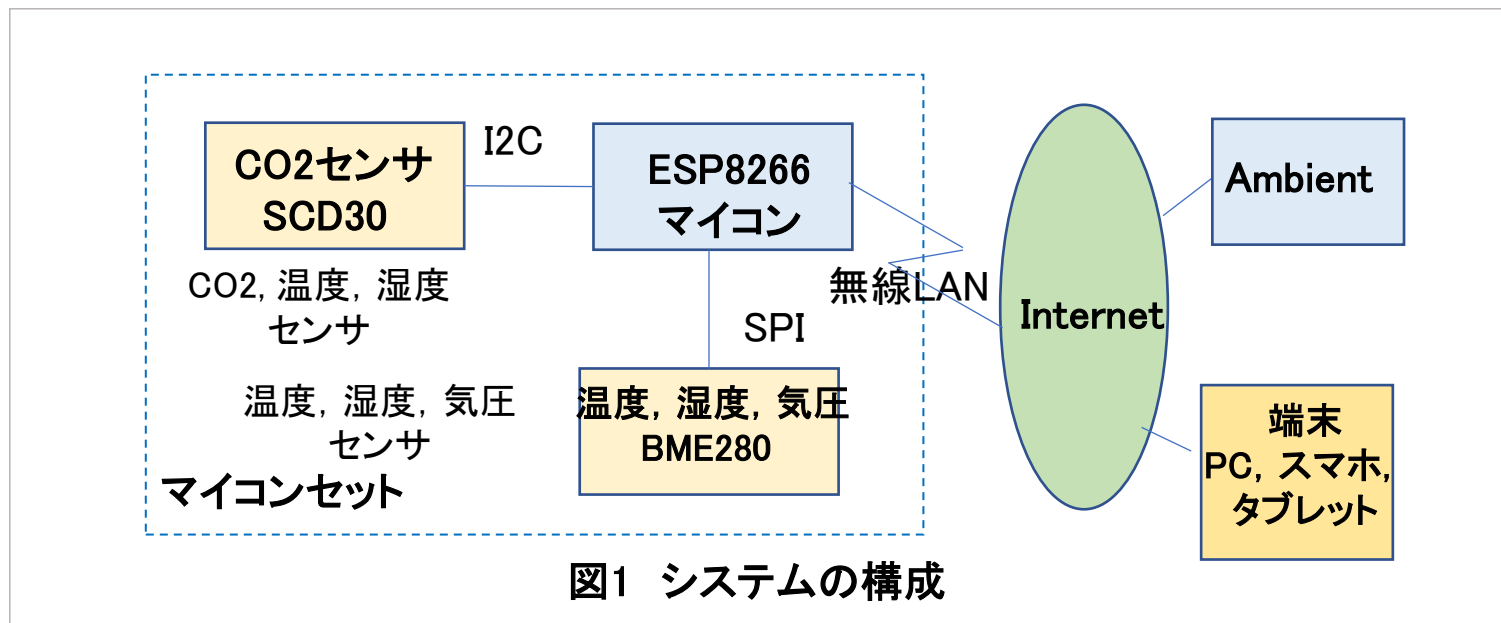
- ・周辺外気の温度、湿度、気圧、**CO2濃度を計測**すること。
- ・そのデータを**クラウドに蓄積**すること。
- ・クラウドのデータをダウンロードして**データ分析に使う**ことができること。

5. 我々の取組み

(2) 精密CO2濃度計測システムの開発

・システムの構成

できるだけ多くの方が取り組めるマイコンとして**Arduinoの体系**を採用した。またシステム構成上無線LANの使用を前提としているので、Arduino体系のなかで無線LANが使えるものとして**ESP8266マイコン**と決定した。CO2センサはNDIR方式の**SensirionSCD30**を、気圧センサは**BoschBME280**を用いた。クラウドは使いやすいものとして**Ambient**を使うことにした。マイコンセット1台あたりの材料費は1万数千円程度である。図1に本システムの構成を示す。



5. 我々の取組み

(2) 精密CO2濃度計測システムの開発

•ソフトウェア処理

- precisionを高めるための理論的背景は、

•中心極限定理の利用

多くの標本値を平均することにより、母数としての平均値に近づく。このシステムでは、3秒ごとに計測したCO2濃度を10回集めて平均し、30秒ごとの計測値としている。

•エルゴード仮説が成立していることを仮定

上記の処理は、同一センサを時間軸で平均している（時間平均）が、これを異なるセンサで平均している（集合平均）こととみなしている。すなわちエルゴード性を仮定している。

•デジタルフィルタの利用

大気中のCO2濃度の変化は、実際には風しだいであり、風速の強い場合には、時定数が数秒以下の急激な変化がありうるが、このシステムでは、数十秒程度の変化とみなし、前述の30秒周期のデータに対して、時定数70秒の1次遅れフィルタ（低域フィルタ）相当のデジタルフィルタ処理（指数平滑）を行っている。

- 図2にソフトウェア処理の概略を示す。

5. 我々の取組み

(2) 精密CO2濃度計測システムの開発

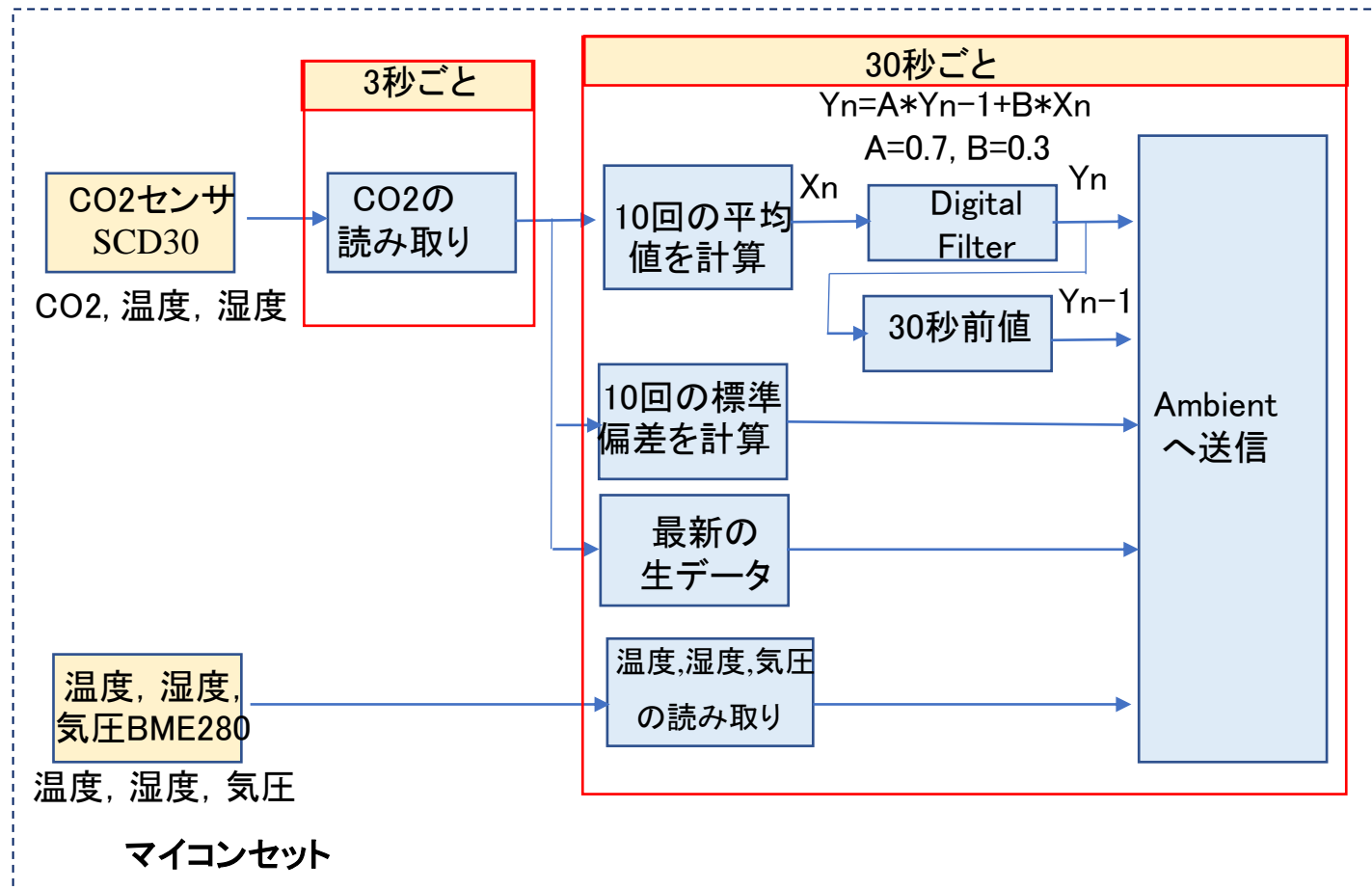


図2 ソフトウェア処理

5. 我々の取組み

(2) 精密CO2濃度計測システムの開発

•システムの課題

システムの完成度を高めるには以下の課題がある。

- RTC（またはNTP）の導入または時刻の同期方法
- マイコン、クラウドでの欠測対策
- センサのさらなる見直し

特に、同一外気を計測して同型番複数センサの計測値の偏差が小さいこと（高い再現性 repeatability）、複雑なセンサ特性を把握すること、別センサの検討など

•trueness改善のための検討と開発

- 現地でのネットワーク設定作業の改善
- 現在はプロトタイプという位置づけであり、再度要件定義から見直し、再開発を検討する

5. 我々の取組み

(3) 取組み成果例のWeb公開

•データ処理・データ分析手法

上記(1)勉強会では、特に脱炭素関係におけるデータの取り扱いに着目して勉強を行った。その成果としてこの分野でのデータの処理方法について、教材としてまとめた[41]。

•我が国のCO₂濃度予測モデル

同じく(1)の一環で、2020年以降2050年までの我が国のCO₂濃度について、極めて簡略化したモデル化を行い、予測を行った[42]。パラメータ推定にあたって、CO₂濃度実績データとして、公開されている国立環境研究所の東海大学代々木キャンパスCO₂濃度の2016年から2020年までの4月平均実績データ、CO₂排出量、CO₂吸収量の実績データとして政府のガスインベントリ（全国）を用いた。

•CO₂吸収について

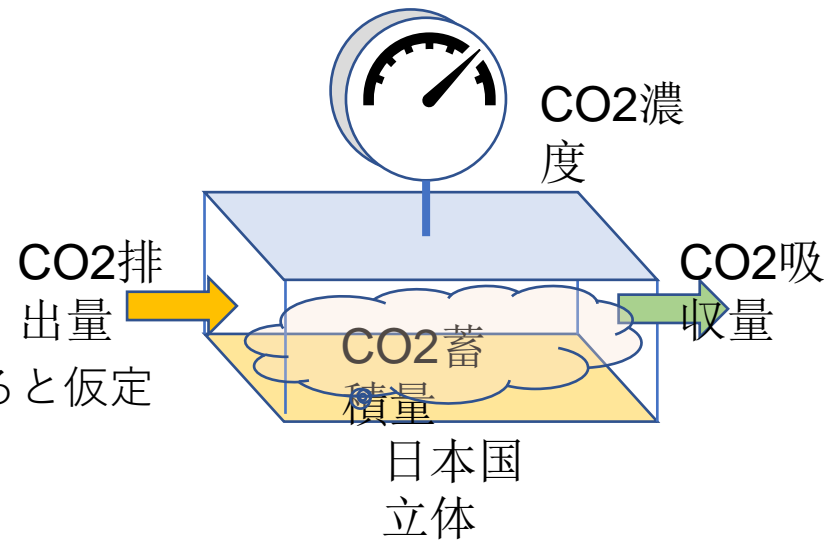
樹木のCO₂吸収について調査を行った[43]。また世界と日本におけるCO₂吸収について調査を行った[44]。

CO2排出吸収モデル

モデル概要

仮定

- ・ 日本国内のみ（外国の影響なし）
 - ・ 陸地のみ（海洋の影響なし）
 - ・ CO2吸収は森林など植物の吸収のみ
 - ・ 日本の国土陸地面積 $S \text{ m}^2$
 - ・ 地上 $H \text{ m}$
 - ・ $S \times H \text{ m}^3$ の日本国 立体内を考える
 - ・ 立体内では、CO2は均一に分布していると仮定
-
- ・ 年々CO2排出量 $I(n)$ が入ってくる
 - ・ 年々CO2吸収量 $O(n)$ が出ていく
 - ・ 年々、排出量と吸収量の差が年々立体内に蓄積する
 - ・ 蓄積したCO2量に比例してCO2濃度となる

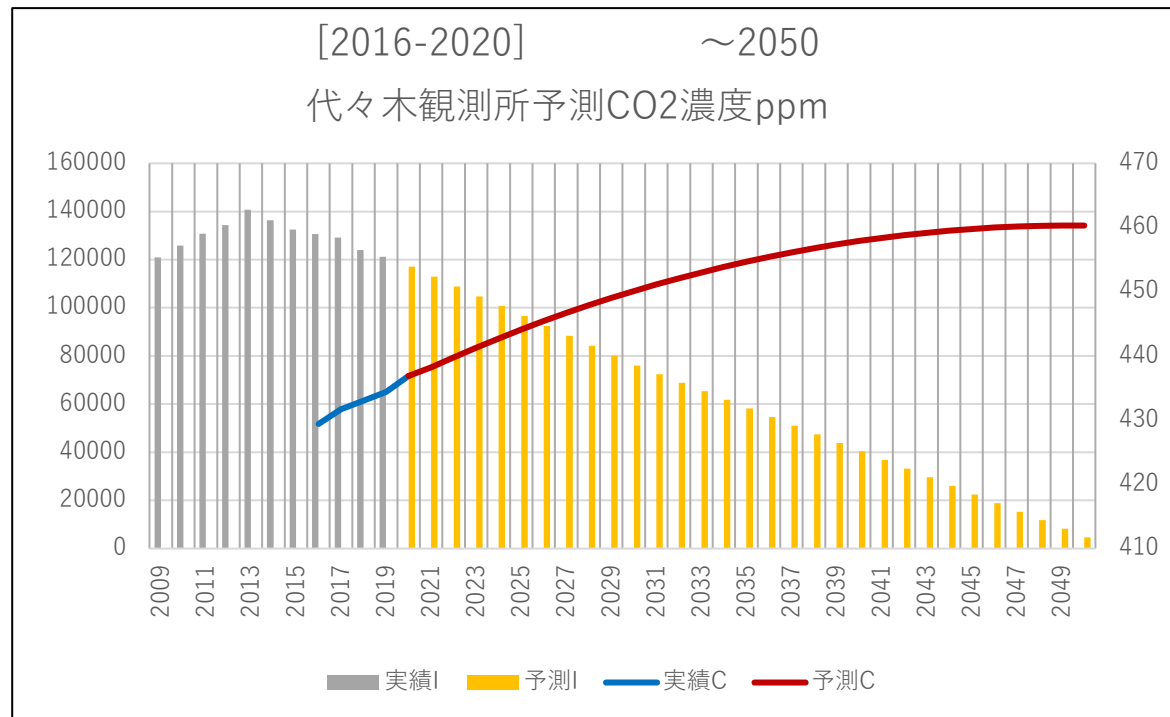


CO2排出吸収モデル

予測モデル

結果

NIES代々木の2016年から2020年の4月平均CO2濃度を実績値として
2021年から2050年までの代々木CO2濃度を予測した



5. 我々の取組み

(3) 取組み成果例のWeb公開

•国・地方の温室効果ガス計算

計算方法について調査した[45].

•国・地方の温室効果ガス観測

気象庁, 国立環境研究所, 埼玉県について温室効果ガス観測の実情を調査した[46].

•精密（脱炭素対応）CO₂濃度計測システムの開発

5.(2)で述べたCO₂濃度計測システムを開発し, 現在もデータ収集の実験中である[47].とくにセンサについて, 複数台を並行して動作させ, センサの特性を調査しているところである[48].

6. おわりに

国内外，各方面の取組みを調査し，それとともに我々も微力ながら何らかの成果をだすような活動をおこなっている．活動は調査と開発であるが，どちらもまだまだ不十分であり，2030年にむけて，多数の課題がある．それらに取り組んでいく所存である．多くの協力いただいた方々に感謝もうしあげる．

ご清聴ありがとうございました．

参考資料

1) 令和2年環境白書

<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/r02/pdf.html>

2) 令和3年環境白書

<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/r03/pdf.html>

3) IPCC第6次評価報告書(AR6)

<http://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/index.html>

4) 国連気候変動枠組条約締約国会議

<http://www.env.go.jp/earth/copcmpcma.html>

5) パリ協定

https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/ondankashoene/pa_riskyotei.html

https://www.enecho.meti.go.jp/committee/studygroup/ene_situation/006/pdf/006_011_01.pdf

6) 温室効果ガスインベントリ

<https://www.nies.go.jp/gio/aboutghg/index.html>

7) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書2021年

http://www.nies.go.jp/gio/archive/nir/jqjm1000000x4g42-att/NIR-JPN-2021-v3.0_J_GIOweb.pdf

参考資料

8) SDGSと地球温暖化との関係

<https://miraimedia.asahi.com/sdgs-description/>

9) 公害対策基本法

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%85%AC%E5%AE%B3%E5%AF%BE%E7%AD%96%E5%9F%BA%E6%9C%AC%E6%B3%95>

10) 環境基本法

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%92%B0%E5%A2%83%E5%9F%BA%E6%9C%AC%E6%B3%95>

11) 地球温暖化対策の推進に関する法律

<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=410AC0000000117>

12) 地方公共団体実行計画策定・実施支援サイト

https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/index.html

13) 地方公共団体実行計画（区域施策編）

https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/data/manual_main_202103.pdf

14) 地方公共団体実行計画（事務事業編）

https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/data/manual_202003.pdf

参考資料

15) 気候変動適応法

<https://adaptation-platform.nies.go.jp/plan/government/act.html>

16) 地球温暖化対策計画

<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/taisaku.htm>

17) 地域脱炭素ロードマップ

<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/datsutanso/dai3/siryou1-1.pdf>

18) ゼロカーボンシティ

<https://www.env.go.jp/policy/zerocarbon.html>

19) 再生可能エネルギー賦存量推定システムREPOS

<https://www.env.go.jp/press/108124.html>

20) エコカー補助金

https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr10_000012.html

21) 気象庁CO2観測体制

https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ghg_obs/kansoku/method_co2.html

22) 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」GOSAT

<http://www.gosat.nies.go.jp/index.html>

参考資料

23) 地球環境データベース陸域モニタリング

<https://db.cger.nies.go.jp/portal/geds/terrestrialMonitoring>

24) 地球環境データベース地上ステーションモニタリング

<https://db.cger.nies.go.jp/portal/geds/atmosphericAndOceanicMonitoring>

25) 脱炭素に向けた次世代技術・イノベーション

https://www.enecho.meti.go.jp/committee/studygroup/ene_situation/006/pdf/006_011_01.pdf

26) 太陽光発電の状況

https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/062_01_00.pdf

27) ZEHについて

https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/housing/index03.html

28) ZEBについて

<http://www.env.go.jp/earth/zeb/about/index.html>

29) 家庭用燃料電池について

https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/suiso_nenryoddenchi/suiso_nenryoddenchi_wg/pdf/002_01_00.pdf

参考資料

30) RE100について

<http://www.env.go.jp/earth/re100.html>

31) ESG投資

https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/esg_investment.html

32) TCFD

<http://www.env.go.jp/policy/tcfd.html>

33) 地方が作成する実行計画

https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/bbs.html#tabBody_02

34) 実行計画作成支援システム（区域施設編）ツール

https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/tools/calsheet.html

35) 実行計画作成支援システム（事務事業編）LAPPS

https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/shien.html

36) 埼玉県騎西観測所CO2濃度公開

<http://www.kankyou.pref.saitama.lg.jp/CO2/co2data.html>

37) 次世代自動車EV/PHV普及の現状について

<https://www.mlit.go.jp/common/001283224.pdf>

参考資料

38) 一般社団法人近未来ビジネスコラボ協会(NFBC)

- <https://nfbchp.wixsite.com/home>

39) 環境・データ勉強会の結果

- <http://www.isem.co.jp/Environment/index.htm>

40) JIS Z8402-1 測定方法及び測定結果の精確さ

- <https://kikakurui.com/z8/Z8402-1-1999-01.html>

41) 脱炭素関係の各種のデータ処理・分析方法

- <http://www.isem.co.jp/Environment/DataAnalysisTechniques/DataAnalysisTechniques.pdf>

42) 我が国のCO2濃度予測モデル

- <http://www.isem.co.jp/Environment/DataAnalysisTechniques/CO2ConcentrationPredictionModel.pdf>

- 同モデルのEXCEL計算

- <http://www.isem.co.jp/Environment/DataAnalysisTechniques/CO2ConcentrationPredictionModel.xlsx>

43) 樹木のCO2吸収

- <http://www.isem.co.jp/Environment/DataAnalysisTechniques/CO2UptakeOfTree.pdf>

参考資料

44) 世界と日本のCO2排出, 吸収

http://www.isem.co.jp/Environment/DataAnalysisTechniques/CO2Emission_Removal_World_Japan.pdf

45) 国・地方公共団体における温室効果ガス排出計算

[http://www.isem.co.jp/Environment/GHG\(CO2\)Calculation/index.htm](http://www.isem.co.jp/Environment/GHG(CO2)Calculation/index.htm)

46) 国・地方公共団体での温室効果ガス観測の実情

[http://www.isem.co.jp/Environment/GHG\(CO2\)Monitoring&Publication/index.htm](http://www.isem.co.jp/Environment/GHG(CO2)Monitoring&Publication/index.htm)

47) 脱炭素対応CO2濃度計測システム

<http://www.isem.co.jp/Environment/CO2MonitoringSystem/CO2MonitoringSystemGeneral.pdf>

<http://www.isem.co.jp/Environment/CO2MonitoringSystem/CO2MonitoringSystemDetail.pdf>

<http://www.isem.co.jp/Environment/CO2MonitoringSystem/CO2MonitoringSystemEssential.pptx>

48) センサの並行テスト

<http://www.isem.co.jp/Environment/CO2MonitoringSystem/TwoSensorsParallelTest.pdf>