

LRRRI における気候変動対応策に関する取り組み

安原一哉・岸田隆夫・足立雅樹・浅田寛喜・山田岳峰・小浪岳治・小林薫

(一社) 地域国土強靱化研究所

概 要

LRRRI では、2019 年創設以来、防災・減災と気候変動対応を大事な課題として取り組んできた。このうち、令和 4 (2022) 年度と令和 5(2023)年度に茨城大学から受託した気候変動対応への取り組みに関する調査に基づく分析結果と考察を、学会での研究発表などを通じて公表してきた。これらの調査を通じ得られた知見のうち、日本における次の知見

- i) 気候変動適応策の革新性・システム転換性を明らかにしたこと
- ii) 事業者が取り組む適応策の実情を明らかにしたこと
- iii) SGGs における気候変動対策と他のゴールとの関係性を明らかにしたこと
- iv) 地盤工学分野における革新性・システム転換性として排出資源を利用したシナジー効果のある技が有望であることを明らかにしたこと

は、この分野において今までに見られなかった成果と考えられる。これらの成果は、会員が構成する事業者が SDGs の分野や気候変動の分野において、今後取り組むべき新たな課題とそれにか関わる技術開発の方向性を明らかにしている点で、会員には有益な情報を提供すると考える。

目 次

はじめに	2
1. 地球温暖化と気候変動の実情	3
2. 気候変動対応への取り組み	12
3. 気候変動緩和策	19
4. 気候変動適応策	24
5. 今後の展望	37
あとがき	42
添付資料:	43

まえがき

“地球の持続可能性 (Sustainability)”というキーワードは、グロ・ハーレム・ブルントラント元ノルウェー首相が1984年から1987年まで、国際連合に設置された「環境と開発に関する世界委員会」(World Commission on Environment and Development, WCED)の委員長を務めた委員会がまとめた報告書「地球の未来を守るために (Our Common Future)」で、「将来世代のニーズを損なうことなく現在の世代のニーズを満たすこと」を意味する“持続可能な開発”の概念が打ち出されたことに始まると考えられる。

“地球の持続可能性”の中の重要な課題のひとつとして、地球温暖化(Global warming)とそれに関連すると考えられる気候変動(Climate change)が挙げられる。このことと密接に関わる国際機関として1988年に設置されたIPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)¹⁾があるが、この機関の目指すところは、人為起源による気候変化、影響、緩和方策及び適応方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことにある。政策者集団の国際的な組織であるCOP (Conference of Party)は、このIPCCの成果に基づいて地球環境政策の合意を得て実践することを目指している。

【コラム:IPCCとCOP】

気候変動問題は国境をまたぐ課題が多いので、勢い国際的な取り決めによって政策が立案され、それに基づいて実践される。気候変動に関する国際的機関としては、IPCCとCOPがあるが、両者の関係は、図-C1に示す通り、IPCCは政策立案に資する科学的事実を集約する科学者集団であるのに対して、COPはそれらに関する政策を立案し、実践する政策担当者集団と理解される。

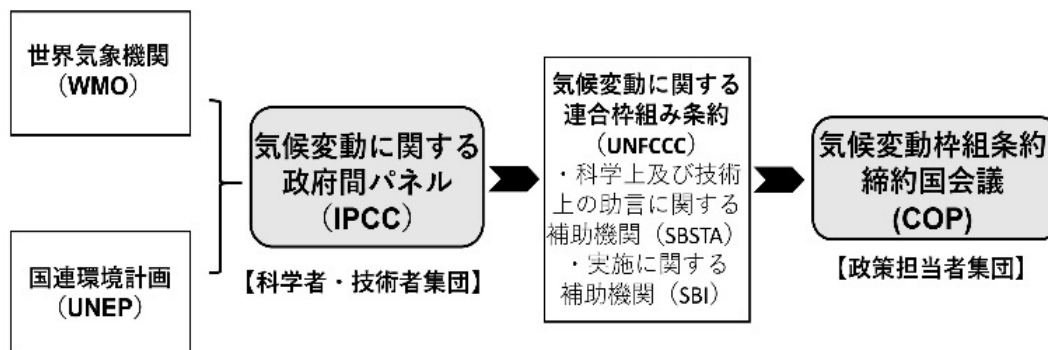


図-C1 IPCCとUNFCCC(COP)との関係³⁾

例えば、IPCCはUNFCCCに先んじて1988年に設立されており、IPCCが1990年に発表した第1次評価報告書(FAR)がその後、1992年に採択されることになったUNFCCCの重要な科学的根拠とされたというような関係にある。この例に見るように、IPCCは、IPCC総会においてUNFCCCからの要請への対応を審議し決定を下すが、その際IPCCは「あくまで政策的・科学的に中立であり、特定の政策の提案を行わない」という姿勢を重視している。

2020年から2022年にかけて、IPCCが公表した第6次報告書(AR6)²⁾を見ても分かる通り、上記目標に関する技術的貢献のスペースは限られている。例えば災害に関連する事例は紹介されているが、工学

的な立場からの検討や検証事例は多くない。とりわけ、地盤災害という視点から眺めてみると、landslide 以外のキーワードはないことから分かるように、水害に比べると、取り扱いは極めて希薄である。

本文の狙いは、まず、上記の事情を省察し、地球温暖化と気候変動の実情を明らかにする。ついで、気候変動対応策のうち、特に、適応策に焦点をあて、(i) 適応策の革新性・システム転換性の分析、(ii) 事業者が取り組む適応策の実情、(iii) 地盤工学に関わる気候変動対応策の実情と課題を展望した。また、これらに基づいて、今後、地盤技術を中心にして、事業者が取り組むべき課題とそれを克服する技術開発の可能性を明らかにした。ここから、事業者が取り組む“適応ビジネス”の方向性が明らかになると考えられる。

1. 地球温暖化と気候変動の実情

1.1. 地球温暖化の実情

地球温暖化とは、(i) 自然現象と(ii) 温室効果ガス (GHGs) を排出する人間活動による長期にわたる地球表面の気温上昇のことがある。地球温暖化を起こす自然現象は、(i) 太陽光反射、(ii) 火山活動、(iii) 水蒸気が含まれる。一方、人間活動による温暖化のメカニズムには、(i)化石燃料の使用、(ii) 森林伐採、(iii) 産業活動、(iv) 農業活動が含まれる。これらのうち、温室効果ガス (GHGs) の排出は熱を保存する高い能力によって主たる要因と考えられるようになってきた。事実、IPCC AR 6 (2022) ²⁾では、図-1 に示すような結果に基づいて“過去 1 世紀における地球温暖化の原因は人間活動によるものであることは疑う余地はない”と結論している。

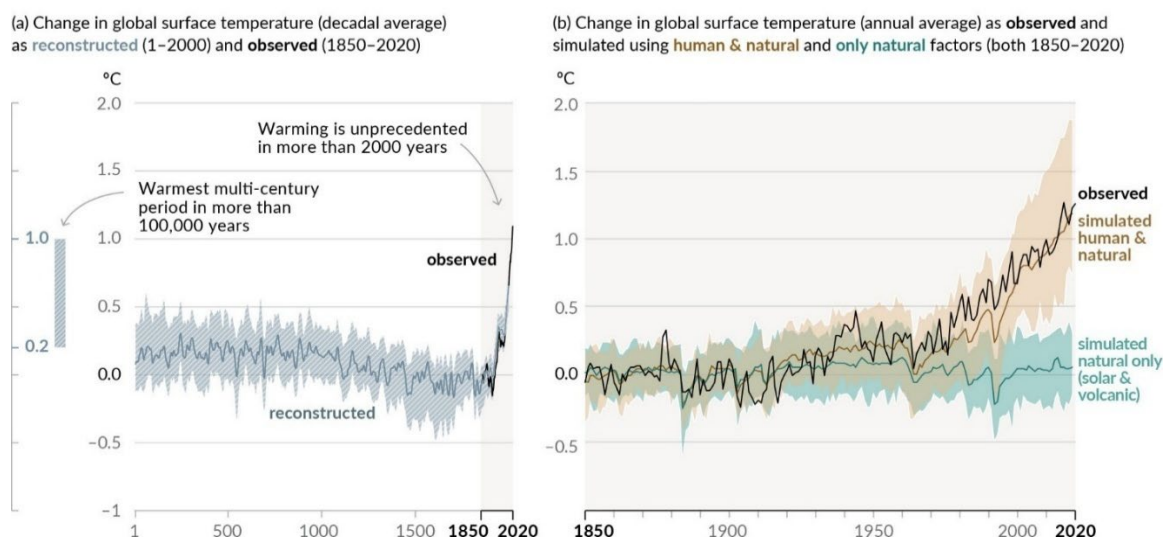


図-1 1850 年から 1900 年に比較した地球表面温度の変化 (IPCC AR6 WGI, 2021)⁴⁾による)

ここで言う温室効果ガス (GHGs) とは、図-2 に示すように二酸化炭素が多くを占めるが、それ以外にもメタン、水蒸気やフロンガスも含まれる⁵⁾。これらの温室効果ガス (GHGs) の人間活動の発生源は

図-3 に示す通り、電機や熱生産、農業や森林などの土地利用、産業活動、運送が主たるものである⁶⁾。

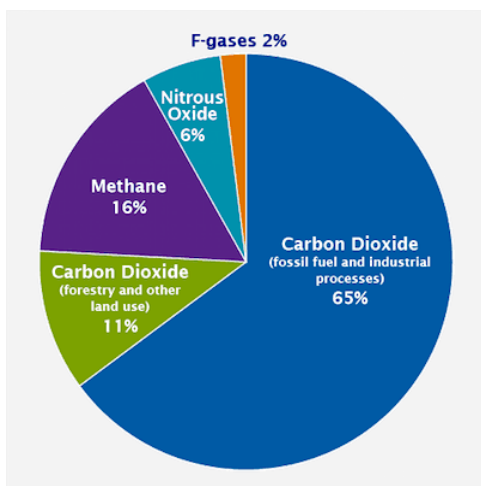


図-2 温室効果ガス (GHGs) の種類⁵⁾

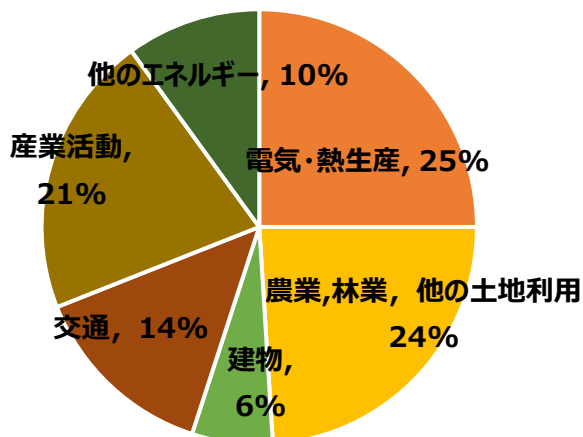


図-3 温室効果ガス (GHGs) の発生源⁶⁾

1.2 地球温暖化の影響

地球温暖化は自然環境や人間環境に種々の深刻な影響が表われているといわれている²⁾。主な影響は下記の通りである。

- ◆気温上昇：地球全体の平均気温が上昇し、極端な気象現象が増加する。これにより、熱波や寒波が頻発する可能性がある。また、近年、世界中で頻発している森林火災も関与していると考えられる。
- ◆海面上昇：海水の温度上昇や、氷河や南極・北極の氷が融けることで、海面が上昇する。これにより、沿岸地域の浸水や土地喪失が進行する恐れがある。
- ◆生態系への影響：動植物の生息環境が変化し、生物多様性が損なわれる可能性がある。特に、絶滅の危機に瀕する種が増えることが懸念されている。
- ◆農業への影響：気温や降水パターンの変化が農作物の生産に影響を与え、食料供給の不安定化を引き起こす可能性がある。
- ◆健康への影響：熱中症や感染症のリスクが高まるほか、空気の質の悪化が健康を害する要因となることがある。
- ◆経済への影響：自然災害の増加や資源の枯渇によって、経済活動に大きな影響を及ぼす可能性がある。

これらの影響の深刻の度合いは、国ごとおよび地域ごとに異なっており、IPCC AR 6⁷⁾によると表-1のように要約される。ここで、-は人間生活にとって負の（悪い）影響、+は正の（良い）影響、±は、正負両方の影響があることを示しているが、地球温暖化は世界の殆どの地域で人間生活の多くの分野で負の影響を与えていることが分かる。表-2 に示した自然環境や人間活動への影響は、20 世紀初頭に比べて 2.0°C 上がると、1.5°C 上がる時に比べて地域の環境システムや極端な気象事象に一段と厳しくなることも分かる。

表-1 地球温暖化の地域別の影響分野

Impact field \ Region	Crop yield	Catch amount	Infection	Forced migration	Flood	Infrastructural damage
World	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Asia	⊕	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
North America	⊕	⊕	⊖	⊖	⊖	⊖
Europe	⊕	⊕	⊖	⊖	⊖	⊖
Africa	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
Small Island	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖

表-2 地球温暖化の影響のリスクレベル

Impact	Risk level			Example
	Low	Medium	High	
Regional ecosystem				<ul style="list-style-type: none"> ● Coral reef bleaching ● Loss of mountain glacier
Extreme weather event				<ul style="list-style-type: none"> ● Mortality due to high temperature ● Increase of mountain fire and drought
Biased influence				<ul style="list-style-type: none"> ● Increase in starving population in Asia and Africa
Social system				<ul style="list-style-type: none"> ● Decrease in labor productivity ● Increase in flood influencing population
Large-scale singular event				<ul style="list-style-type: none"> ● Ice sheet loss in Antarctic and Greenland ● Sea level rise in low-lying regions

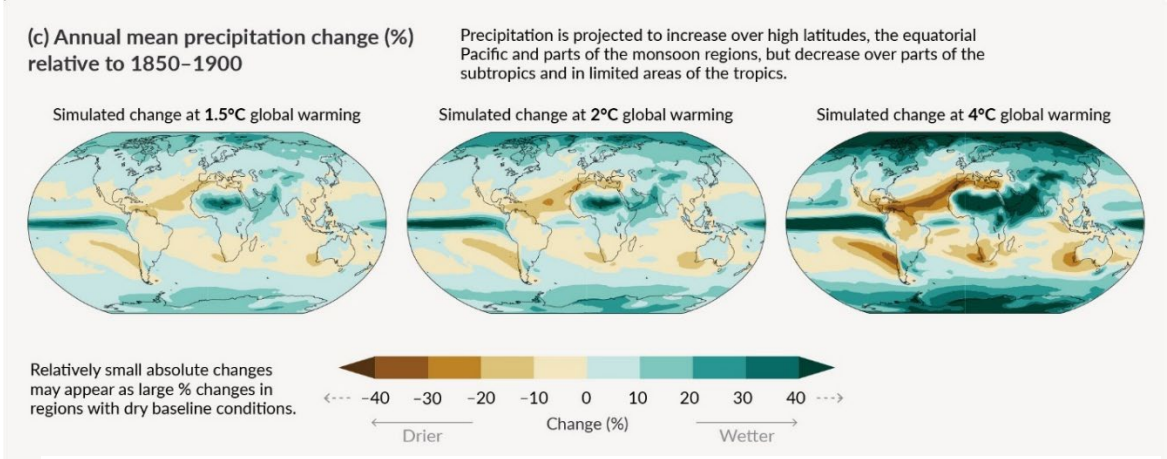


図-4 平均的降雨特性の変化（1850-1900 に比べて）⁷⁾

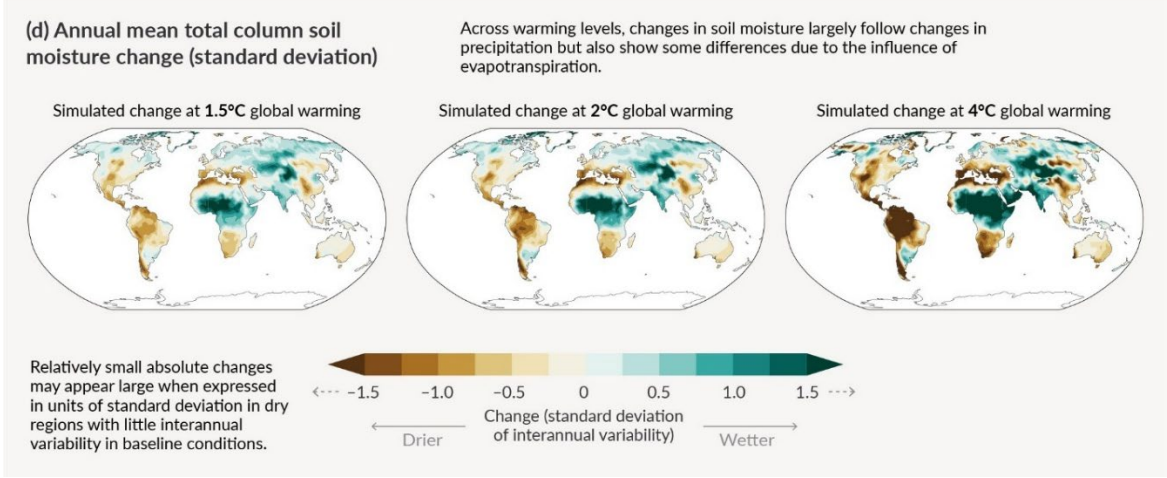


図-5 平均的土壌水分の変化に及ぼす地球温暖化の影響（1.5°C ~ 4.0°C）⁷⁾

なお、ここで注意しておきたいことがいくつかある。重要なことの一つは、最近世界中で頻発している森林火災は地球温暖化の影響があると考えられるが、上記には取り上げられていない。もう一つは我々の関連分野（地盤工学）に関する件で、IPCC で紹介されている温暖化の影響とその対象領域には、土（土壌）、地盤、地盤災害（土砂災害）というキーワードが殆ど見られないことである。唯一、明示的に表れていることとして、食糧生産に関連して、図-4 と図-5 に示すように、降雨特性とそれに伴う土壌水分（Soil moisture）の変化に関する記述があるが、農作物の生産への影響に関するもので、地すべりや斜面災害などの地盤災害（土砂災害）に関する記述は殆ど見られない。ただ、図-4 と図-5 で、傾向がともに二極化(Polarization)していることに留意しておく必要がある。降雨については、猛烈な雨の地域が増えるとともに、渇水をもたらす地域がともに増えることを示唆している。この点は、地盤に関わる技術者も留意しておく必要がある。

1.3 地球温暖化と気候変動

気候変動は、地球の気候が長期的に変化することを指す。この変化には温暖化も含まれるが、表-3 に示す通りその他の自然な要因（火山活動、太陽の変動など）による変化も含まれる。気候変動は、気

表-3 気候変動を引き起こす要因⁸⁾

活動	関連する要因	傾向
太陽活動	太陽放射量	太陽黒点の増大 ➤ 気温上昇と逆比例
地球軌道	入射日射量	
人間活動 大気組成の変化	放射過程 - 二酸化炭素 - フロンガスなど	二酸化炭素の増加 ➤ 気温上昇
火山活動	エアロゾル	日射量の上昇 ➤ 気温低下
地圏活動	造山運動, 大陸移動	

温の変化だけでなく、降水パターン、風のパターン、極端な気象（台風、干ばつなど）の頻度や強度などの地球システム全体の変化も含まれる（図-6 参照）。つまり、地球温暖化は気候変動の一因であり、温暖化が進むことで気候が不安定になり、さまざまな影響が広がるという関係がある。

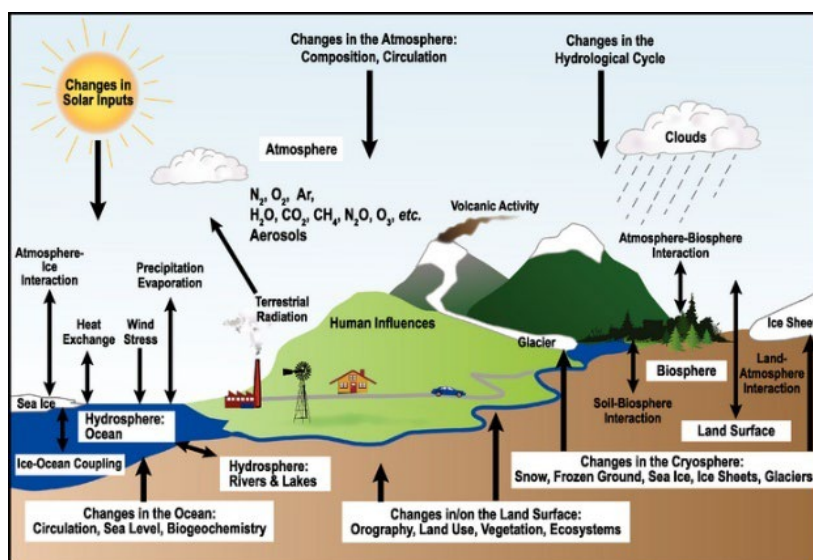


図-6 地球システム⁹⁾

1.4 気候変動の実情

気候変動問題は国際的な課題であることから、これを中心に世界情勢を考えると、混乱と混迷の時代にあり、気候変動だけを解決するというのはむづかしく、図-7 に示すように SDGs の中に位置づけられている（17 ゴールのうち 13 番目）ことを強く意識しておかなければならない。日本はまだ“Developed country”であるという前提で考えてみても、あらゆるインフラは劣化していく一方で、気候変動や地震を中心とした外力は大きくなっており、外力が抵抗力を上回る状況になっている（図-8 参照）¹⁰⁾ため、災害に伴う損失とダメージ（Loss and damage）¹¹⁾が大きくなっている。なお、ここで取り上げた Loss and Damage は、参考文献¹¹⁾でも紹介されているが、緩和策や適応策では回避できない影響に対して行動することを指している。



図-7 SDGs のロゴ⁹⁾

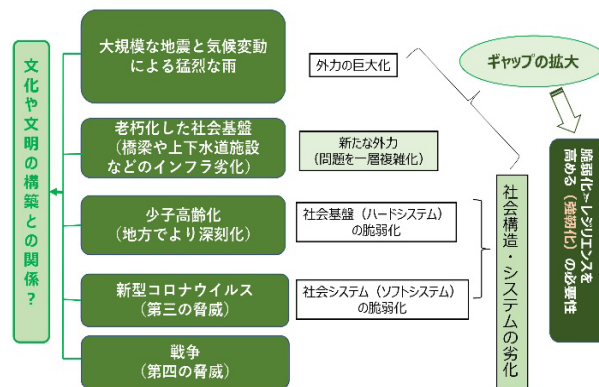


図-8 時代認識¹⁰⁾

前述したように、地球温暖化は気候変動の一因であるが、“地球温暖化は気候変動の必要条件であるが、十分条件ではない”ということができる。その理由を説明すると下記の通りである。

- ◆必要条件であること：地球温暖化は気候変動の一因であり、地球の平均気温が上昇することで、気候のパターンが変わる。このため、温暖化が進むと気候変動が起こることは確かであるといえる。
- ◆十分条件ではないこと：しかし、地球温暖化だけが気候変動を引き起こすわけではない。他にも自然の要因（火山活動や太陽活動など）や人為的な要因（森林伐採、土地利用の変化、温室効果ガスの排出など）が気候に影響を与えるため、地球温暖化がなくても気候変動が起こることがある。

IPCC が“（過去 1 世紀における）地球温暖化の原因は人間活動によるものであることは疑う余地はない”と結論づけていることに対して、地球の歴史を考えると寒冷期と温暖期を繰り返していることから IPCC の結論は事実に反するという事で、いわゆる“温暖化懐疑論”を唱える研究者もいる。このことを踏まえた本文の姿勢は、“地球温暖化は気候変動の必要条件であるが、十分条件ではない”という視点から、“気候変動が起きている事実は認めるが、温暖化と気候変動の関係の是非に関する議論はしない”という主張を支持する立場に立っている。

【コラム：温暖化懐疑論における主たる主張】

1. 自然の気候変動：懐疑論者は、地球の気候は歴史的に自然に変動しており、現在の温暖化もその一部であると主張し、過去には氷期や温暖期があったことを根拠に挙げる。
2. データの信頼性：一部の懐疑論者は、気候データやモデルの信頼性に疑問を呈している。データの収集や解析方法に誤りやバイアスがあると主張することがある。
3. 温暖化の影響の誇張：温暖化の影響が実際にはそれほど深刻ではないとし、科学者やメディアがその影響を過大評価していると主張している。
4. 政策への反対：地球温暖化対策として提案される政策（例えば、温室効果ガスの削減や再生可能エネルギーへの移行）の経済へ悪影響を与えると懸念し、これを理由に懐疑的な立場を取る。
5. 太陽活動の影響：一部の懐疑論者は、地球温暖化が太陽の活動に起因していると主張し、温暖化の原因を人間活動から自然の要因にシフトさせようとする。

多くの気候科学者は、人間活動が温暖化の主な原因であると考えているが、上記の主張は、IPCC などにおける科学的なコンセンサスとは異なっている。ただし、一部の懐疑論者の意見も存在することを考慮しておく必要がある。

さて、現在起きている主な気候変動の事象は次のことがあげられている。

- ◆気温上昇：地球全体の平均気温が上昇しており、特に産業革命以降の100年間で顕著である。これにより異常気象が増加している。
 - ◆降水パターンの変化：一部の地域では降水量が増加し、他の地域では減少している。そのため、洪水や干ばつなどの極端な気象現象が発生している。
 - ◆海面上昇：グリーンランドや南極の氷床が溶けることによって、海面が上昇している。これにより、低地の沿岸地域が浸水の危険にさらされている。
 - ◆極端な気象イベントの増加：熱波、暴風雨、ハリケーン、台風などの極端な気象イベントの頻度と強度が増している。
 - ◆生態系への影響：生物の生息地が変化し、種の絶滅リスクが高まっている。
 - ◆農業や漁業への影響：生産や捕獲量の原書から、食料安全保障にも懸念が生じている。
- これらは、先に示した地球温暖化の影響とも符合しており、“気候変動は地球温暖化に起因している”と主張される根拠となっている。

上記のうち、例として取り上げる海面上昇に関する状況と考察を加えると下記の通りである。

- ◆海面上昇は今後一世紀にわたって続くが、どの程度になるか、どれくらい速くなるかは、将来のGHGsの排出量に依存する。避けられない海面上昇は以下のことを引き起こすと考えられる。
 - i) 海岸域生態系システムと生態系サービスの喪失
 - ii) 地下水塩水化
 - iii) 水害と海岸インフラのダメージ
- ◆また、海面上昇の傾向がいくつかのシナリオに従ってこのまま続くと、2050年までには影響を受ける人口は
 - i) 今のまま (business as usual) だと一億人に影響を与える
 - ii) 一世紀に一回起きるような海面上昇だと、影響が（現在の）20～30倍あるいはそれ以上になることが指摘されている。

【ECO-DRR と生態系サービス】

ECO-DRR（エコロジカル・ディザスター・リダクション）は、自然の生態系やそのサービスを活用して、災害リスクを減少させるアプローチを指す。生態系サービスとは、自然が私たちに提供するさまざまな恩恵のことを指す。具体的には下記のようなものがある。

- ◆水の浄化：湿地や森林は水をフィルターし、きれいな水を供給する。
- ◆土壌の保護：植物の根は土壌を固定し、浸食を防ぐ。
- ◆気候調整：森林は二酸化炭素を吸収し、温暖化を抑える役割を果たす。
- ◆生物多様性の維持：多様な生態系は、病気や害虫の拡散を防ぐ。

ECO-DRR の考え方は、これらの生態系サービスを利用して、例えば、洪水や土砂崩れなどの自然災害を軽減することを目指す。具体的には、例えば森林を保護することで、雨水の流出を抑えたり、湿地を復元することで洪水のリスクを下げたりする。

つまり、ECO-DRR は自然の力を借りて、持続可能な形で災害に対処し、地域社会を守るための重要な手段である。

海面上昇はこの後 1000 年続くだろう。ただ、どれくらいの速さで、また、どの程度になるかは将来の GHGs 排出の程度に依存する。

a) Sea level rise: observations and projections 2020-2100, 2150, 2300 (relative to 1900)

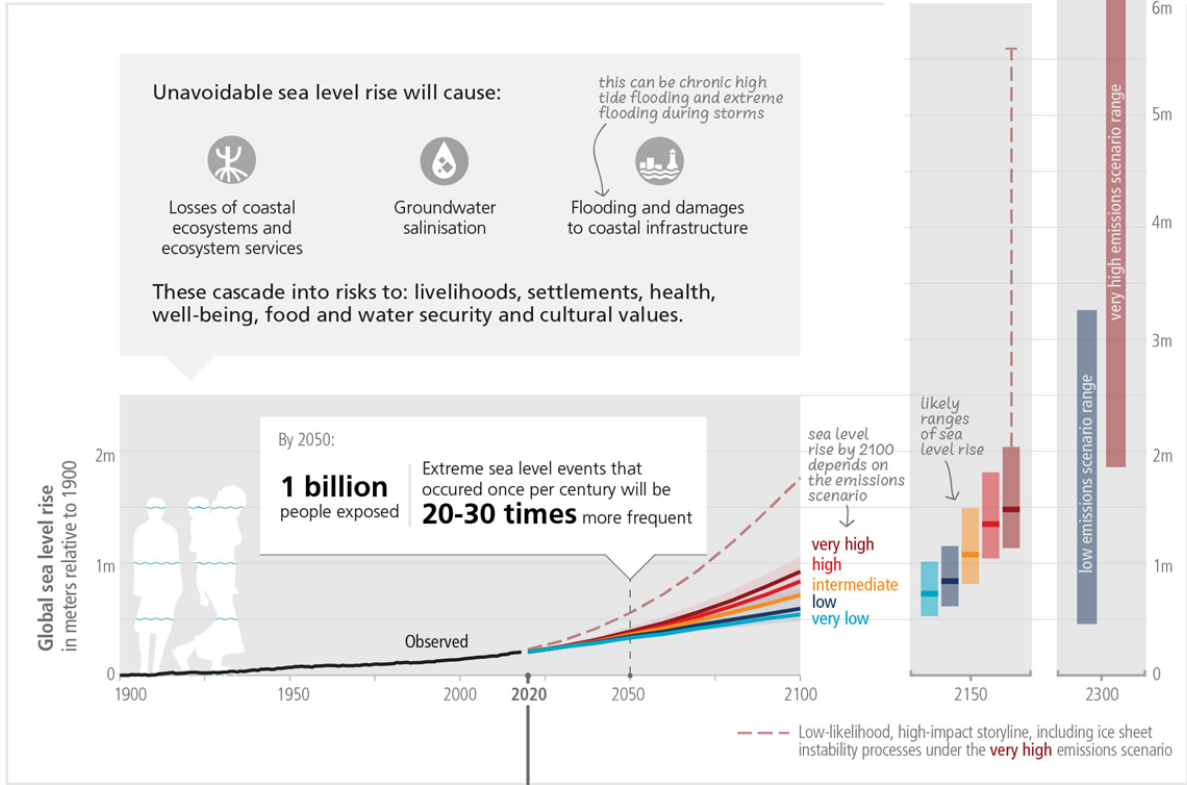
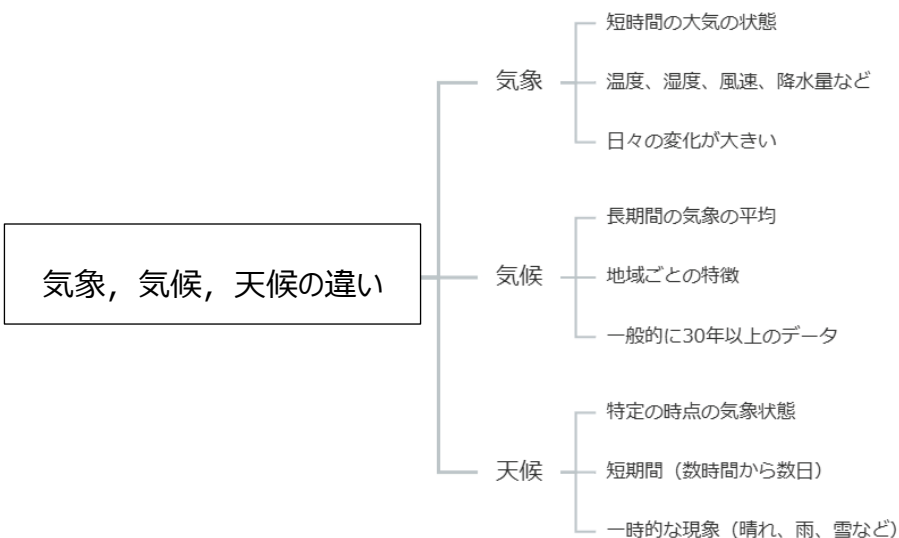


図-9 海面上昇の将来予測事例 (IPCC AR6 SYR, 2022) 7)

【コラム：気象と気候】

◆気象、気候そして天候の関係は、下記のようにまとめられる。



【コラム：異常気象と気候変動】

異常気象, 「気候変動」, 「気象危機」は, 気象や気候に関連する用語であるが, それぞれ異なる意味と関係がある。

◆異常気象:

異常気象とは, 通常気象パターンから大きく逸脱した天候のことを指す。例えば, 極端な高温や低温, 大雨, 干ばつ, 強風などがこれに該当する。異常気象は短期間で発生し, 特定の地域で観測されることが多い。

◆気候変動:

気候変動は, 長期的な気温や降水量などの変化を指す。これは自然現象によるものもあれば, 人間の活動, 特に温室効果ガスの排出が大きな要因となっていることが多い。気候変動は数十年から数世代にわたって観測され, 地球全体の平均気温の上昇や気象パターンの変化を引き起こしている。

◆気象危機:

気象危機は, 異常気象や気候変動が引き起こす, 社会や経済に対する深刻な影響を指している。たとえば, 異常気象による自然災害(洪水, 干ばつ, 熱波など)は, 食料供給の危機, 経済的損失, 健康問題などを引き起こす可能性がある。気候変動が進行することで, こうした危機の発生頻度や深刻度が増すことが懸念されている。

これらの関係をまとめると, 気候変動が長期的な変化をもたらし, その結果, 異常気象が頻繁に発生するようになる, ということになる。そして, 異常気象が引き起こす問題が積み重なることで, 気象危機が生じるという流れになる。つまり, 気候変動が異常気象を引き起こし, その結果として気象危機が発生するという因果関係があると考えられる。

参考文献

- 1) <https://www.ipcc.ch/>
- 2) <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
- 3) 安原一哉：地盤工学の気候変動対応戦略におけるカーボンニュートラル (CN) : C²X の展開へ向けて, 地盤工学会誌, 72(9), 1-8, 2024.
- 4) IPCC: AR 6, WGIII Mitigation of Climate Change, pp. 1400-1406, Cambridge University Press, 2022.
- 5) <https://www.epa.gov/> (Measuring Emission of Agricultural Greenhouse Gases and Developing Mitigation Options using Nuclear and Related Techniques edited by Zaman, M., et al., Springer, 2021)
- 6) <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-overview>
- 7) IPCC: AR6 Synthetic Report (SYR), 2023.
- 8) 安原一哉・足立雅樹：地球温暖化による海面上昇が土構造物・基礎地盤に及ぼす影響, 土と基礎 (地盤工学会誌), vol 42, No 6 (437), pp. 51-54, 1994.
- 9) https://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030agenda/sdgs_log/
- 10) 安原一哉・村上 哲：平野が抱える地盤工学的課題, 2. 気候変動に伴う地盤工学的リスクと対応, 地盤工学会誌, Vol. 67, No. 4, pp. 43-50, 2019.
- 11) <https://www.env.go.jp/content/000181151.pdf> (2024.5.25 閲覧)

2. 気候変動対応への取り組み

2.1 気候変動対応策の必要性

周知の通り、気候変動対応策は緩和策と適応策で構成される（図-10 参照）。いわば車の両輪であり、拡がる気候変動に対する脆弱性は両方から縮めなければならない¹⁾。最近、各分野で話題になっている“カーボンニュートラル（以下、CN と略称）”は、気候変動対応策のうちの緩和策の一部である。したがって、地盤工学的立場から貢献方策を考えるとときも同様な視点で取り組んでいく必要がある^{1),2),3),4)}。

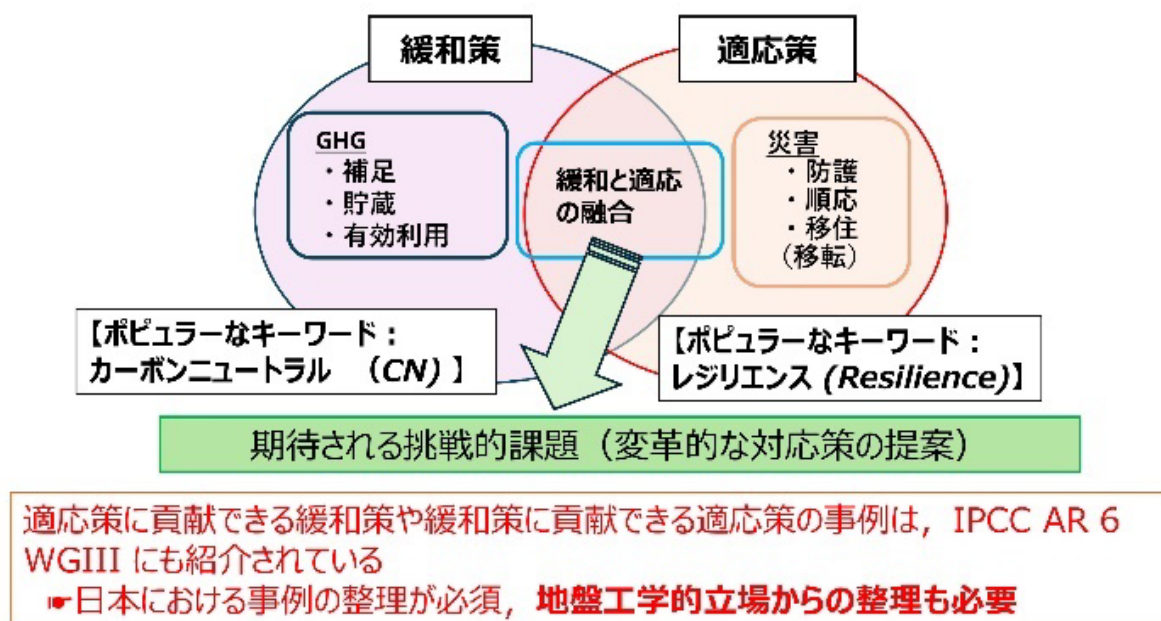


図-10 気候変動緩和策，適応策と二つの融合策^{1),2),3),4)}

日本においては、「2050年カーボンニュートラルの実現」および「2030年度温室効果ガス46%削減」を目標に掲げ、2023年2月には、政府が「GX（グリーントランスフォーメーション）実現に向けた基本方針」を公表しているが、現在の国内事情やCOP（Conference of Party）に代表される国際事情を考えると、「2050年カーボンニュートラルの実現」は、かなり難しいのではないかと筆者らは危惧している。また、仮に、実現できたとしても、温暖化の影響は長期にわたって残留するので、緩和策だけに頼っては気候変動に適切に対応できないので、適応策との両輪を駆使することが必要である。しかしながら、地盤工学の分野では、このような認識のもとに、バランスよく技術開発や制度整備への貢献が進められてはいない。その意味で、後述するように、地盤工学会は政策を決定する行政への提言や提案をしていくことが必要である。筆者ら^{3),4)}が“政策反映型研究推進”の重要性を強調するのは、この考え方に起因している。

ここではこのような実情を念頭に置いて、最初に、気候変動対応策における地盤工学の現状を考察し、その後、地盤工学におけるCNを中心とした緩和策の展開にかかわる課題の解決方法、関連技術と施策の推進策を提案する。次いで、気候変動の要因の一つである地球温暖化がもたらすと考えられている事象に対応するための施策や技術（適応策と総称）の推進策について考察する。

2.2 SDGs における気候変動対応策

〔1〕SDGs, 脱酸素, そして CN

気候変動対応は SDGs の中で 13 番目の項目として取りあげられている (図-7 参照)。そこで対応策の具体的な取り組みを紹介する前に SDGs から CN を中心とした脱酸素社会に至る経過をレビューした。

表-4 では CN とか GX を通じて脱炭素社会づくりを目指すことになった経緯を簡単にまとめている。最初に出てくる, 脱炭素社会を目指す前の段階として, 1997 年に京都で行われた国際会議で「京都議定書」が採択された時期に目指したのが“低炭素社会”である。ただ, 低炭素では, 地球温暖化防止にはつながらないとの認識の下で, 地球温暖化の主たる原因である二酸化炭素の排出量をゼロに抑えることを国際的に目指したのが“脱酸素社会”である。

表-4 CN に関するイベントのレビューの一例

年 (西暦)	主要な国際的な動向 (一部日本の動向含む)	CNに関連する事項	備考
1972	成長の限界—ローマクラブ「人類の危機」レポート		
1987	最終報告書“Our Common Future” (邦題「地球の未来を守るために」) 発表		「環境と開発に関する世界委員会」 (WCED: World Commission on Environment and Development, ブランドランド委員会) による
1988	IPCC 設立		
1992	地球サミット (環境と開発に関する国際会議) 開催 UNFCCC 採択		リオデジャネイロ (ブラジル)
1992	IPCC 「第 1 評価次報告書 (AR1)」公表		1st Assessment Report (AR1), 以後数年ごとに改訂
1995	COP 開催		開催地: ベルリン (ドイツ)
1997	COP 3 開催	温室効果ガス排出量を2012年までに約5%削減することを義務付け (“低炭素社会”へ向けて)	開催地: 京都 (日本), 「京都議定書」採択
2012	IPCC 「SREX報告書」公表		Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)
2015	COP 21 開催	“脱炭素社会”に向けた温室効果ガスの削減に取り組み推進	開催地: パリ (フランス), 「パリ協定」採択, 「2℃目標」設定
2015	の国連サミットで「持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals:SDGs) 採		2030年までに達成することで一致, 17の目標設定 (気候変動対応は, 13. に設定されている)
2018	IPCC 「1.5℃特別報告書」公表		気温上昇が1.5℃を超えると非可逆的な事象が生じると警告
2020	日本, 「2050年温室効果ガス排出量ゼロ」を表明	“脱炭素”宣言	
2020	日本, 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 (「グリーン成長戦略」) 」を公表	“カーボンニュートラル”へ向けた本格的取り組みの開始	民間企業の前向きな挑戦を応援し, 大胆な投資とイノベーションを促す環境を作ることを目的
2021	日本, 「2050年目標と整合的させて, 2030年度に温室効果ガスを2013年度から46%削減することを旨とする。」ことを表明		「さらに, 50%の高みに向けて, 挑戦を続けていく」ことも併せて表明

ここでいうカーボンニュートラル (CN) は、上記の脱炭素を念頭に置いて人為的に排出される温室効果ガスの排出量から、吸収量を差し引いてゼロにする施策である。例えば、CNに取り組む場合、まずは自らが排出する温室効果ガスの削減に注力するが、やむを得ず排出してしまう温室効果ガスを、植林を行い、吸収源である森林を増やす CCUS などの技術を活用して CO₂ を削減することによって、「排出量」－「吸収量」＝ 0 を達成することを意味する

これに対して、カーボンネガティブは、排出量を吸収量よりも少なくする、「排出量」－「吸収量」< 0 を目指すものである。つまり、カーボンネガティブの実現のためには CN を達成することが前提となる。

一方、カーボンポジティブは、二酸化炭素の吸収量を増やすことに焦点を当て、“吸収できることをポジティブ”としてこれを達成しようとする考え方である。つまり、カーボンポジティブは、「「吸収量」－「排出量」> 0 を目指すことで、「排出量」－「吸収量」< 0 を目指すカーボンネガティブと同じ意味となる。ここでは、これらのカーボンネガティブ、CN、カーボンポジティブを CN と総称している。

なお、表-4 にもある、“グリーン成長戦略”とは、従来の発想を転換し、積極的に対策を行うことが産業構造や社会経済の変革をもたらし、次なる大きな成長につながっていくという考え方に基づいて、「経済と環境の好循環」を作っていく産業政策を指している。また、特に、CN を中心にして社会変革をもたらすことをグリーン・トランスフォーメーション(Green Transformation: GX) と称している。したがって、CN は GX の基軸となる施策の一つであり、GX は CN を包含する概念であると考えられる。

[2] カーボンニュートラル (Carbon Neutrality) と SDGs

まえがきでも述べた通り、1997 年、「環境と開発に関する世界委員会」(WCED: World Commission on Environment and Development, 提唱した当時のノルウェーの首相の名前に因んで「ブルントランド委員会」と略称されることがある) で提唱された“持続可能な発展”(Sustainable Development: SD) に基づいて、2010 年に国連で提唱された「持続可能な開発目標」(SDGs) における目標のうちの 13 番目は「気候変動に具体的な対策を」である。その気候変動に対する対応策は後述する、「緩和策」と「適応策」に分けられるが、CN は、1. で述べた「緩和策」の施策の一つであることを再確認したい。図-11 に、SDGs から CN までの流れを示している。

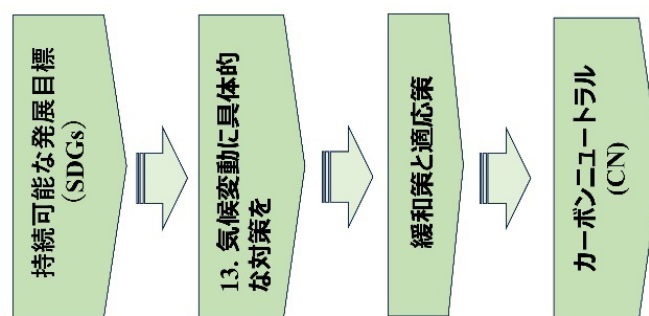


図-11 SDGs から CN への流れ

2.3 気候変動対応策

[1] 緩和策と適応策

前述した通り、気候変動対応策は、「緩和策」と「適応策」に分けられる。先に示した図-10 はこのこと

を要約したものである。ここで示しているように、「緩和策」の代表的キーワードが“カーボンニュートラル (CN)”を含めた脱炭素であるのに対して、「適応策」の代表的キーワードは，“レジリエンス (Resilience)”の強化である。レジリエンスについては、図-12 を参照すると分かりやすい。

災害を激甚化させる主たる要因は、外力の増加とインフラの劣化である。図-12 に示すように、本文では、外力の増加とインフラの劣化による抵抗力 (防災力) の低下のギャップを縮めるのが緩和策と適応策による強靱化 (レジリエンスの強化) と考える。

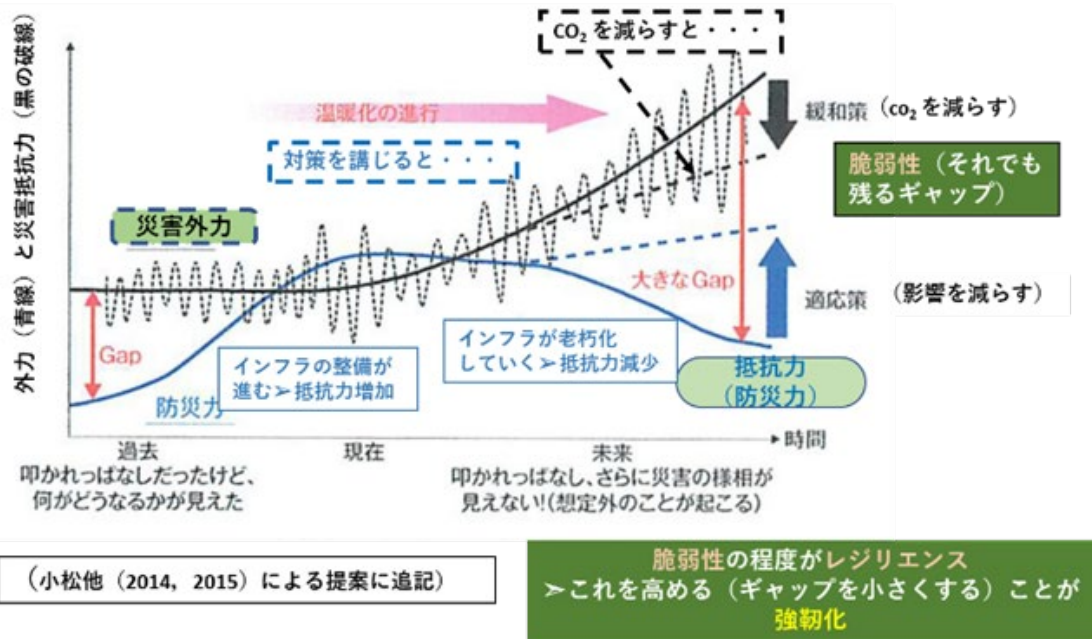


図-12 災害脆弱性・レジリエンスと緩和策・適応策の位置づけ^{5), 6)}

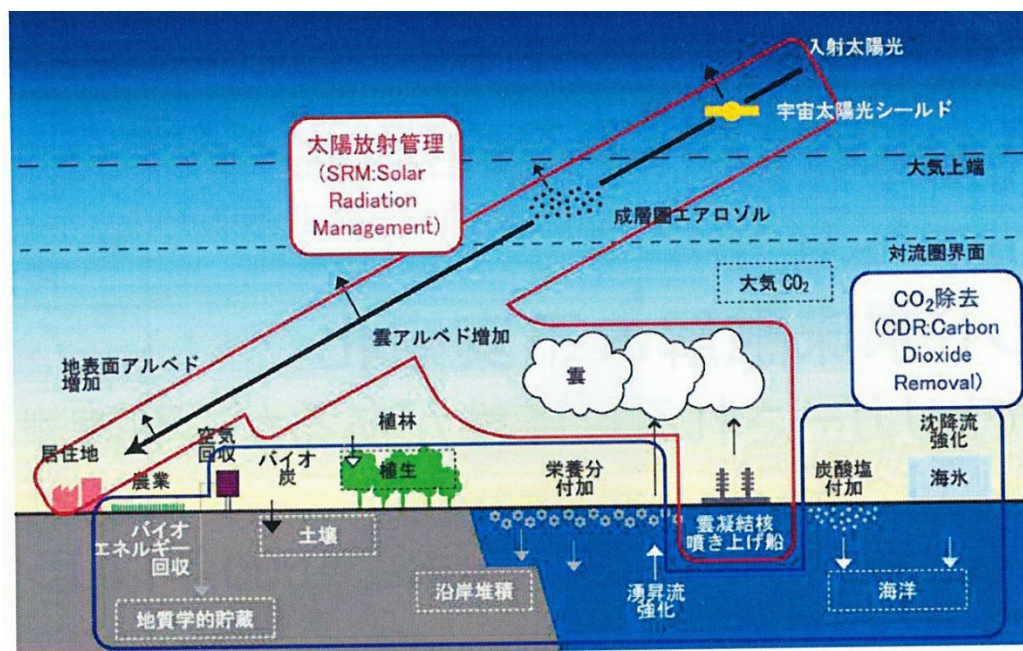
表-5 には、図-10 に基づいて緩和策と適応策をまとめている。ここでは、CN というキーワードはないが、ジオエンジニアリングや二酸化炭素の排出削減がそれに該当する。

表-5 気候変動対応策のまとめ¹⁾

対応策		具体的な対応策例
緩和策 (Mitigation)		<ul style="list-style-type: none"> ・Geo-engineering (ジオ・エンジニアリング) <ul style="list-style-type: none"> - 太陽放射管理 (SRM) - CO₂除去 (CDR) ・二酸化炭素の排出削減 ・排出権取引の利用 ・再生可能エネルギーの開発
適応策 (Adaptation)	防護 (Protection)	・気候変動の影響を引き起こす外力の制御
	順応 (Accommodation)	・気候変動の影響をある程度許容して対応
	退避 (Retreat)	・気候変動の影響を受ける地域からの撤退あるいは移住 (Relocation)
緩和策と適応策の融合		<ul style="list-style-type: none"> ・気候予測に基づく早期警戒システム ・生態系保全

[2]ジオエンジニアリング (Geo-engineering)

ジオエンジニアリングは、気候変動の影響を緩和するために気候システムを意図的に改変する幅広い手法や技術と定義されている。一般にジオエンジニアリング手法は二つのカテゴリーに分けて考えられる。「太陽放射管理」(SRM)は地球の反射率を高めることで人為起源の温室効果ガスによる温暖化を相殺することを目指し、「二酸化炭素除去」(CDR)は大気中二酸化炭素濃度の低減を目指している。筆者らは表-5で、ジオエンジニアリングを緩和策の中に分類しているが、杉山⁷⁾は、ジオエンジニアリングは、緩和策でも適応策でもない“第三の地球温暖化対策”としている。



出典:杉山, 気候工学入門, 日刊工業新聞社, 2011

図-12 ジオエンジニアリングの二つの手法⁷⁾

なお、地球環境分野で用いられているジオエンジニアリング (Geo-engineering) は、日本語では、杉山によって、“気候工学”と訳されており、地盤工学分野で使われるジオエンジニアリング(Geo-engineering)の用法とは異なっていることに留意する必要がある。

[3]地盤工学的対応策

嘗て、筆者ら⁸⁾は、気候変動が土、地盤と土構造物に及ぼす影響について整理したことがある。これによれば、土に関わる課題として、(i)食糧や生態系に対する影響、(ii)地盤に関わる影響として地すべりを中心とした地盤災害の激甚化や広域化、(iii)盛土など土構造物の劣化に及ぼす影響など多様な課題があるが、後述する、IPCCのAR (Assessment Report: 評価報告書) や COP にみられる通り、地球環境分野や気候変動分野ではこのことがほとんど認知されていない。

上記の課題に対して地盤工学の分野で取り組まれてきた内外の事情を表-6にまとめている。

表-6 気候変動に関する地盤工学的取り組みの内外の事例

年 (西暦)	世界での例	日本での例
1994		地球温暖化が海面上昇へ及ぼす影響 土と基礎 (現・地盤工学会誌), 42-6 (437), pp. 51-54
2002 ~2012	NGI における CoE として, ファロク・ナディム博士 (Dr. Farrokh Nadhim) を中心とした国際的 地盤災害の中で取り組まれた	
2005 ~2009	環境省戦略的研究開発プロジェクトS-4 (2005- 2009) & S-8 (2010-2014)において, 地盤工 学的貢献の試みを実践	
2013	ATC1: Geotechnical Mitigation and Adaptation to Climate Change-induced Geo-disasters in Asia-Pacific Regions▶ Journal for SEAGS: (Southeast Asian Geotechnical Society) & AGSSEA. (Association of Geotechnical Societies in South East Asia)の Vol. 47, No. 1 (2018) 気候変動特集号発行	【会誌講座H25年10月-H26年03月】地球温暖 化がもたらす地盤の環境変化と災害
2014		H26年~H28年度, JGS北海道支部「気候変 動に伴う積雪地における地盤災害リスクに関する研 究員会」(委員長: 石川達也・北海道大学教 授) とその後のシンポジウム開催
2016	56th Rankine LectureでImperial Collegeの Professor Richard Jardine) "Geotechnics, energy and climate change"を講義	
2017	米国・バドュー大学で2017 PGS Workshop & 15th G.A. Leonards Lecture としてClimate Change and Geotechnical Engineeringが 主課題として取り上げられた	
2018		土木学会地盤工学委員会, 「気候変動環境下 における寒冷地の地盤災害対応と社会基盤整備」 と題する研究討論会を全国大会(北大)におい て開催
2023	・9th ICEG (ギリシャ, クレタ島) において Climate change のセッションが設定された ・CREST 2023 (福岡, 日本) で気候変動を 含めたGeotechnical Sustainability に関する Workshop 開催	環境地盤工学シンポジウム(熊本)で「気候変 動」のセッションが設定された

表-7 9th ICEG における気候変動対応策の研究事例

Authors	Title	Response
Hideo Komine, Yasuhisa Saito, Kiyohiko Suzuki	Experimental evaluation of carbon-capture properties of industrial by-products for post-carbon society	Mitigation
Takao Kono, Masamichi Aoki	Properties of soil-cement wall using low CO ₂ emission cement	Mitigation
Kumbamutlang War, Gopika Raveendran, Saurav Roy, D.N. Arnepalli	Effect of CO ₂ -clay Interaction on Swelling Stress Generation Capacity and Porosity of Clay-rich Medium Exposed to CO ₂	Mitigation
Juan Bernal-Sanchez, Agata Gaspar	Carbon impact & mitigation of housing developments on peatlands in the UK - A case study	Mitigation
Luo Yuanyuan, Yixin Yang, Sheng Zhou, Jiakai Chen, Jingjing Cao, Hefu Pu, Bate Bate	Preliminary carbon reduction emission assessment with GCLs as vertical barriers for municipal solid waste dump sites in China	Mitigation
Mengjia Zhou	Enlightenment to the construction of resilient cities from the extraordinary rainstorm disaster in Zhengzhou, China	Mitigation
Subhojit Mandal, Mainak Thakur	A Study on the Estimation of Surface Ozone Pollution in the Indian Megacity, Delhi at pre-, during- and post-COVID Years using Statistical and Machine	

このうち、国際学会で、“気候変動”のセッションが取りあげられたのは、2023年6月ギリシャで開かれた第9回国際環境地盤工学会議（9th ICGE）が最初と思われる。このうち、気候変動に関する論文を表-7にまとめてみた。これからわかるように、緩和策に関連するものばかりで、適応策に関する研究事例は皆無である。

一方、国内で気候変動のセッションが取り上げられたのは、同じ2023年11月に熊本市で開かれた第15回環境地盤工学シンポジウムにおいてであると思われる。ただ、第15回環境地盤工学シンポジウムのセッションの設定に混乱があると思われるので、このシンポジウムにおける発表論文の中で、気候変動に関連すると判断されたものを抽出して筆者らの一人（安原）⁴⁾が整理し直したものが表-8である。これをみると、CNを念頭に置いたと思われる緩和策の取組みが多いのは心強い。加えて、CO₂低減だけでなく地盤改良など、複合的な効果を目指したいいくつかの研究がある（表-4の左に示した筆者整理番号の3, 8, 11, 12が該当）のは、後述するシナジー効果を目指した気候変動対応策として注目すべきものである。学会のプログラムに見られた分類は、発表者の提示したキーワードに従って分類したものと想像するが、12.植生・微生物、13.斜面安定、14.CO₂固定・貯留、15.気候変動・持続可能性の4セッションに分散している。これを筆者は、表-4で【気候変動対応】セッションと【持続可能性（SDGs）】セッションの二つにまとめてみたが、この方がすっきりすると思われる。このうち、CNに含まれるのが学会分類の「14.CO₂固定・貯留」である（筆者整理番号では、2, 3, 4, 5, 6, 7, 8が該当）。

表-8 第15回環境地盤工学シンポジウムにおける気候変動に関連する発表論文の再整理⁴⁾

整理番号	セッション名（筆者提案）	サブセッション名（筆者提案）	論文タイトル
1	【持続可能性（SDGs）】	17. パートナースhip	合意形成の過程で行われるコミュニケーションの要点と課題
2		4. 教育	環境問題や防災・減災に貢献する人材育成を目的とした中空泥だんご出前教室の概論と事例
3	【気候変動対応】	緩和策	環境配慮型地盤圧入材を用いた「地盤改良をしながらCO ₂ を地盤中に貯留する技術」の開発
4			処分場CCSに向けたCO ₂ 固定化副産物の性能評価とカーボンキャプチャー効果の推算
5			遊離Caを保有する産業副産物を活用したCO ₂ 固定化における反応メカニズムの実験的考察とpH調整による反応促進効果
6			破碎コンクリートを用いた埋戻し地盤の二酸化炭素固定化に関する研究
7			管理型海面処分場の埋立灰地盤を模擬した二酸化炭素固定実験
8			二酸化炭素ハイドレートによるCO ₂ 貯留と地盤の強度増加に関する研究
9			建設発生土の曝気養生による二酸化炭素固定化技術の効果検証
10			回転式ストーカ主灰の地盤材料特性及び炭素固定能力の評価
11			簡易炭化装置による廃棄物系バイオマスの炭化と吸水性材料としての活用
12			CO ₂ 吸着させた木質バイオマス灰を添加した土壌からの元素溶出挙動とコマツナへの生育応答
13			適応策
14	気候変動対応策を通じた地盤工学のIPCCへの貢献		

一方で、気候変動に対する対応では、“緩和策と適応策を両輪として考えていく必要がある”という観点からは、緩和策に比べると、適応策に関する研究が少ないのは気になることである。適応策に関する地

盤工学的適応策に関する研究を増やすとともに、(i) 適応策に貢献できる緩和策、(ii) 緩和策にも貢献できる適応策も念頭に置いた研究の推進が望まれる。IPCC AR 6 WGIII (2022)⁹⁾にもいくつか紹介されている(後述)が、気候変動対応施策や政策の展開によって社会に大きな変革(トランスフォーメーション)をもたらすC²X (Climate Change Transformation) 技術として開発の推進が、国際的にも大いに期待されていると判断する。なお、C²X (Climate Change Transformation) は、Climate Change に関する方策と技術をもって社会の変革を目指すことを意味していることから、DX や GX とは定義を異にしている。また、この略語は、筆者の一人(安原)のネーミングによるもので、広く認知されているものではない。

参考文献

- 1) 安原一哉:気候変動に対する地盤工学的戦略:緩和策に視座を据えて,地盤工学会誌, Vol. 67, No. 4(735), pp. 1-5, 2019.
- 2) 安原一哉・山田岳峰:気候変動対応策を通じた地盤工学のIPCC への貢献, 第15回環境地盤工学シンポジウム講演集, pp. 583-590, 2023.
- 3) 安原一哉・浅田寛喜・岸田隆夫・足立雅樹・山田岳峰・小浪岳治:気候変動適応策の革新性・システム転換性の分析と考察, 第32回地球環境シンポジウム論文集, pp. 47-52, 2024.
- 4) 安原一哉:地盤工学の気候変動対応戦略におけるカーボンニュートラル(CN):C²X の展開へ向けて, 地盤工学会誌, Vol. 72, No. 9, pp. 1-8, 2024.
- 5) 小松利光・押川英夫・橋本典明:防災力・レジリエンス向上のための水・土砂災害分野の適応策, 環境研究, No. 179, pp. 47-56, 2015.
- 6) 安原一哉・村上哲:2.気候変動に伴う地盤工学的リスクと対応、講座・平野が抱える地盤工学的課題とその対策, 地盤工学会誌, Vol. 67, No. 4 (735), pp. 43-50, 2019.
- 7) 杉山昌広:気候工学入門, 日刊工業新聞社, 2011.
- 8) 安原一哉・足立雅樹:地球温暖化による海面上昇が土構造物・基礎地盤に及ぼす影響, 土と基礎(地盤工学会誌), Vol. 42, No. 6 (437), pp. 51-54, 1994.
- 9) IPCC: AR 6, WGIII Mitigation of Climate Change, pp. 1400-1406, Cambridge University Press, 2022.

3. 気候変動緩和策

3.1 緩和策の現状

緩和策の現状については一般的には下記のことを提案されている¹⁾。

- ◆再生可能エネルギーの導入: 太陽光, 風力, 水力, バイオマスなどの再生可能エネルギーの導入が促進されている。多くの国が2050年までにCNを目指しており, 再生可能エネルギーの割合を増やすことが重要な目標となっている。
- ◆エネルギー効率の向上: 産業, 輸送, 建物などでエネルギー効率を向上させる取り組みが進められている。例えば, 省エネ機器の導入や建物の断熱性能を高めることにより, エネルギー消費を削減し, 温室効果ガスの排出を低減することが目指されている。
- ◆交通の脱炭素化: 電気自動車(EV)やハイブリッド車の普及, 公共交通機関の利用促進, 自転車や徒歩の奨励などが進められている。また, 交通インフラの改善も重要なポイントである。

- ◆森林保全と植林：森林は二酸化炭素を吸収する重要な役割を果たしている。森林の保全や再植林プロジェクトが行われ、持続可能な森林管理が推進されている。これにより、炭素の貯蔵を増やすことが期待されている。
- ◆農業の持続可能性：農業分野でも温室効果ガスの排出削減が求められている。持続可能な農法や有機農業、農業の効率化により、農業からの排出を減少させる取り組みが進行中である。
- ◆国際的な協力：気候変動は地球規模の問題であるため、国際的な枠組みや協定が重要である。パリ協定に基づき、各国が自主的に削減目標を設定し、協力して温室効果ガスの削減に取り組んでいる。

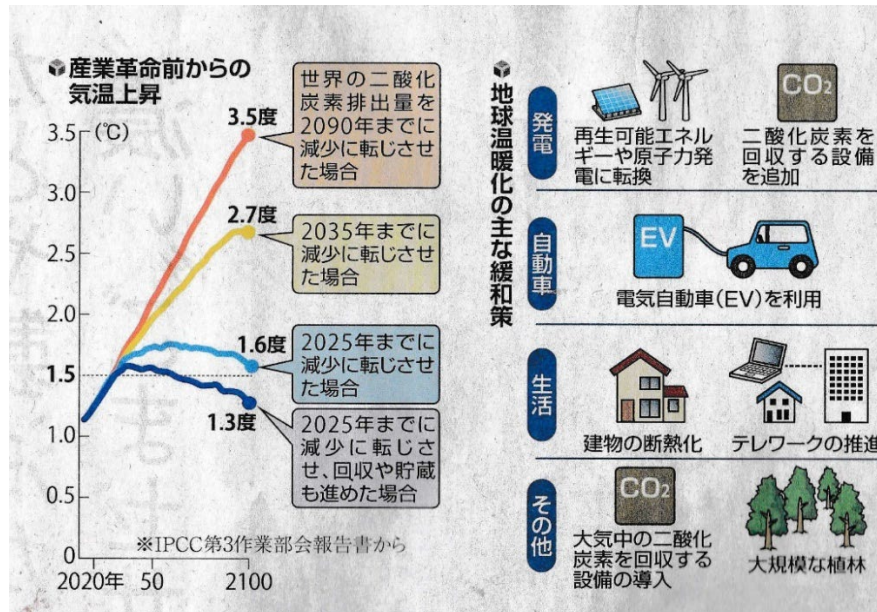


図-13 IPCC AR6 で提案されている緩和策²⁾

3.2 地盤工学的緩和策

表-9 地盤工学的気候変動緩和策の概要³⁾

対応策	対応策の例	施策・技術の例	解決すべき課題例
貯蔵策・吸収策	GHGsの貯蔵	地中貯蔵 (CDR)	<ul style="list-style-type: none"> 土や植物などの自然生態系にCO₂などのGHGが及ぼす影響の解明 地下水への影響評価
		CO ₂ 回収貯留 (CCS)	
	森林整備などによる植物のGHGの吸収	マングローブ保全技術 バイオマスCCS技術	<ul style="list-style-type: none"> 適応策 (地盤補強と地盤改良) との組み合わせ 現地におけるパイロットテストの実施 土壌や植物などの自然生態系への影響解明
削減策	省エネルギー		
	代替エネルギー & 再生可能エネルギーの開発・普及・拡大	太陽光利用	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動に起因する外力 (巨大台風, 集中豪雨など) に対する安定性の評価 地下水質への影響評価 大容量の発電所ができていく
		風力発電	
		地中熱利用	
	新たなエネルギー開発	メタンハイドレート	<ul style="list-style-type: none"> 漁業や水産業への影響評価 深海底の生態系に及ぼす影響評価
水素エネルギー		<ul style="list-style-type: none"> 低コスト化 長期にわたる技術開発と普及戦略構築 社会的受容性の拡大 	

表-9 は、これまでの記述を踏まえて地盤工学の立場から考えられる気候変動緩和策をまとめたものである。先述の CN は、緩和策を構成する、貯蔵策・吸収策と削減策を実現させるための方策と理解される。地盤工学の立場からの緩和策としては、温暖化効果ガス（GHGs）の低減（CN への貢献）のために、排出資源の有効利用は可能性の高い技術として期待される。ここで言う排出資源とは、小峯⁴⁾によって提案された地盤工学的な適用が可能な廃棄物（主として、産業廃棄物、一部、災害廃棄物も含む）を指している。表-10 はこれらに該当する排出資源の例をまとめたものである。

表-10 地盤工学的気候変動対応策に資すると考えられる排出資源例⁵⁾

排出資源	適応場面	適用分野	引用先
石炭灰	基礎，盛土，空洞充填	適応，緩和能力の可能性	Horiuchi, et al., J. of Hazardous Materials, 76, 301-337, (2000).
鉱滓	廃棄物処分施設の覆土	緩和と適応との相乗	Umino, M., et al. (2017). Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, 48 (1), 82-89.
廃棄タイヤ	海岸堤防や河川堤防の後背地の防御	適応，緩和能力の可能性	Hazarika, H. and Fukumoto, Y. (2016). International Journal of Geomechanics, ASCE, DOI: 10.1061/(ASCE) GM.1943-5622.0000687.
廃棄コンクリート	・壁体の裏込め ・砕石杭	緩和と適応との相乗	https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210112_5022.html .
破碎貝殻	河川堤防の裏法面	緩和と適応との相乗	大埜他 (2021). 土木学会論文集, 77-2, I_373-1378.
木材（間伐材）	地盤改良，地盤補強	緩和と災害低減	https://www.tobishima.co.jp/technology/environment_earth/earth_carbonstock.html .

これらの排出資源は地盤改良など現地で利用された実績はあるが、気候変動緩和策や適応策を念頭に置いて実務で適用された例は多くない。図-14 はそのうち、今後が期待される提案技術の例を示している。

排出資源の利用とともに期待されるのがグリーンインフラストラクチャー（GI）である。植物によっては、GHGs を吸着し、貯蔵できる可能性があるものがあり、災害低減などにも資することによって、気候変動緩和策と適応策への相乗効果を発揮するものがあると考えられるが、十分な整理が行われていない。例えば、GI については、国土交通省の“グリーンインフラ官民プラットフォーム”⁶⁾があるが、気候変動との関係性を集約した記述は見当たらないようである。

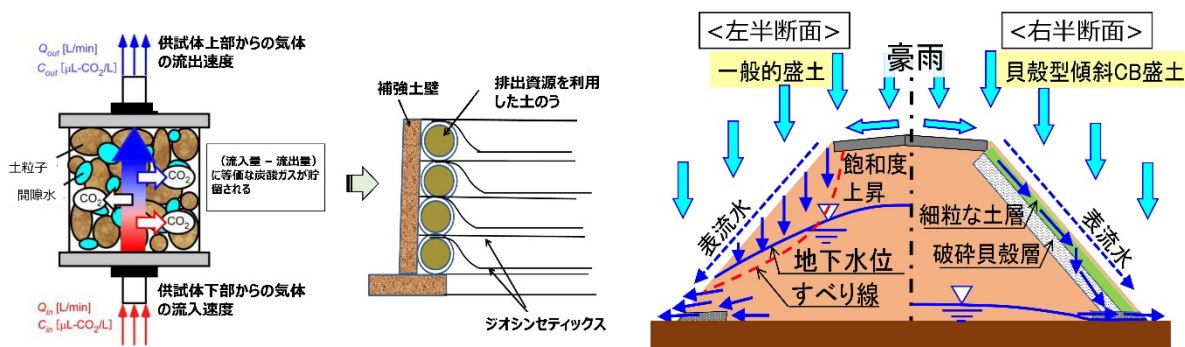


図-14 排出資源の適用例

またこのこととは別に、著者ら^{10),11)}は、図-15に示すような、グレー（コンクリート構造物など）、グリーン（植物）とブラウン（土構造物）を融合して強靱なインフラを整備する技術の提案（スマート GGB 構想）を行っている。これも GI の一つと位置づけられる。

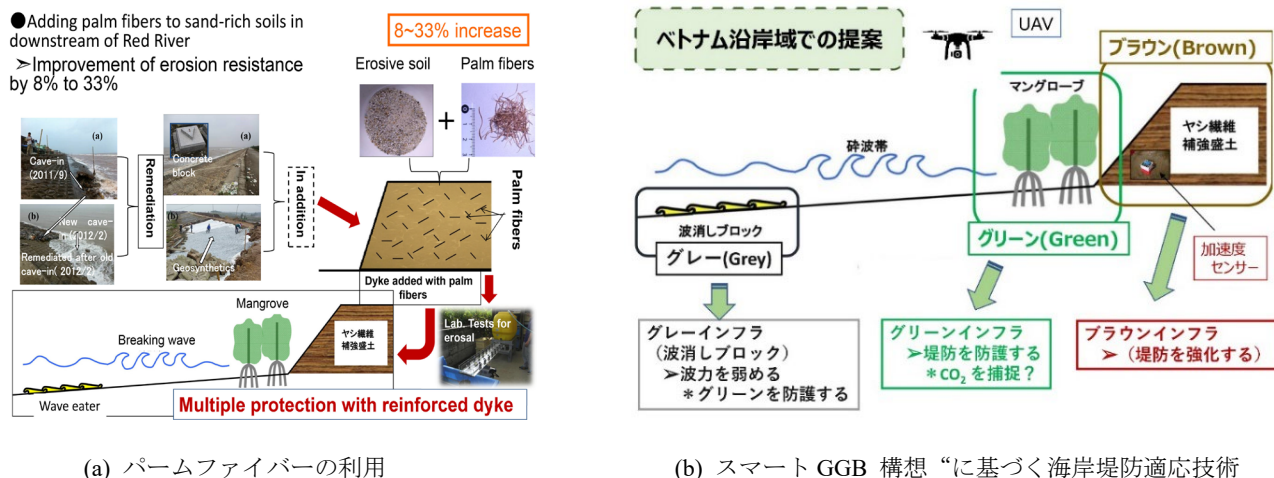


図-15 グレー(G), グリーン(G)とブラウン(B)インフラを融合した “スマート GGB 構想”^{10), 11)}

3.3 シナジー効果とトレードオフ

CN については政策的側面と技術的側面があるが、両側面で共通する重要な課題の一つは、提案に基づいて実践していく技術には常にシナジー効果とトレードオフを考慮しておく必要がある。シナジー効果については、表-4 で見た通り、CN を含めた緩和技術が地盤改良や植生の改良効果などにも寄与できる例がこれに該当する。先に述べた IPCC AR 6 WGIII (2022)¹⁾にも、(i) 適応策にも貢献できる緩和策 (表-11)、(ii) 緩和策にも貢献できる適応策 (表-12) に分類した事例が紹介されている。一方、トレードオフをもたらす政策や技術は避けなければならない。例としては、IPCC AR 6 で紹介されている事例 (表-13) に加えて、(i) 無計画なソーラーパネルの敷設によって、斜面崩壊が増える事例、(ii) CO₂ 吸着を目指した森林の過渡な伐採が土砂災害を加速する事例、などが挙げられる。

表-11 適応策に貢献する緩和策例 (IPCC AR6 WGIII, 2022¹⁾ による)

政策行動	相互関係の説明
◆グリーンインフラストラクチャー: 複数の生態系サービスと利点を提供する -炭素の貯蔵と隔離 -エネルギー消費の削減	◆洪水管理を含む適応の利益 ◆環境教育を含む社会的共益
◆REDD+ ^{*1} 戦略 -炭素の貯蔵と隔離への貢献 -再生可能エネルギーの開発	貧困削減や生態系サービスなどの社会的利益を生み出すことを目指す
◆家庭のエネルギー効率と再生可能エネルギー施策: エネルギー政策は社会経済発展に寄与する。 -エネルギー使用の削減	エネルギー効率 (EE) 向上 > エネルギー消費を最小限に抑え、競争力レベルを向上させ、炭素フットプリント ^{*2} を削減するための実現可能で持続可能な解決策として浮上
<備考> *1 REDD+: 発展途上国における森林伐採と森林劣化からの排出削減 *2 炭素フットプリント: 製品やサービスのライフサイクル全体を通して排出される温室効果ガスの量をCO ₂ 排出量に換算して表示する仕組み	

表-12 緩和策に貢献する適応策例 (IPCC AR6 WGIII, 2022¹⁾ による)

政策行動	相互関係の説明
◆沿岸適応とブルーカーボン ➢炭素の貯蔵と隔離に貢献する	◆生息地と生態系の保護は、コミュニティを極端な事象から守り、食料安全保障を高め、生態系サービスを提供する
◆自然に基づく解決策 (Nbs) ➢個別およびクラスター化された樹木を使用して、炭素の貯蔵と隔離に貢献する	Nbsは、社会生態系のレジリエンスを構築するためのさまざまな他のアプローチと共通の要素を持ち、補完し合う
◆生態系に基づく適応 (Eba)	EbAは、森林、草地、湿地、マングローブ、またはサンゴ礁などの生態系の保全、適切な管理、及び遅延を含む
◆都市の緑化 ➢炭素の貯蔵と隔離に貢献する ➢エネルギー使用の削減	◆都市の造林・再造林は、冷却効果と水の保持を生み出し、同時に大気中の二酸化炭素を削減するのに役立つ ◆グリーンウォールと屋上緑化は、(i) 建物のエネルギー効率を高め、(ii) 水の流出を減少させ、(iii) 建物の断熱を提供する
◆都市レベルの気候適応計画 ➢炭素の貯蔵と隔離に貢献する ➢エネルギー使用の削減 ➢再生可能エネルギー	◆気候行動計画を持つ都市は、都市の空間計画や能力構築の取り組みを含む ◆都市での気候変動対策によって生み出される共益の一例は洪水水を減少させる地下水貯蔵施設である

表-13 気候変動対応策（緩和策と適応策）におけるトレードオフ例
(IPCC AR6 WGIII, 2022¹⁾ による)

政策行動	相互関係の説明
◆土地利用戦略：緩和または適応のために考慮された隔離は、土地計画において対立を引き起こす可能性がある	◆土地の密度や利用の増加、土地利用の混合、交通接続性の向上は、気候ストレスを増加させ、緑のオープンスペースを減少させる可能性がある。 ➢これにより、都市のヒートアイランドの影響が増し、人間の健康に悪影響を及ぼし、人口を沿岸の浸水にさらす可能性がある。
◆低炭素、ネットゼロ、気候変動に強い建築基準が、手頃な価格を考慮していない場合がある	◆トレードオフは、個別ではなく包括的に実施されるべき政策メカニズムに関連している可能性がある。しかし、異なる行政レベルや機関が横断的な調整への障壁を生むことがある。

参考文献

- 1) IPCC: AR 6, WGIII Mitigation of Climate Change, pp. 1400-1406, Cambridge University Press, 2022.
- 2) https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WGI_SPM_JP.pdf.
- 3) 安原一哉：気候変動に対する地盤工学的貢献戦略：緩和策に視座を据えて、地盤工学会誌, Vol. 67, No. 4, pp. 1-5, 2019.

- 4) 小峯秀雄：持続可能な都市環境創生に向けた環境地盤工学の役割と展望，土と基礎（地盤工学会誌），Vol. 53, No. 9, pp.1-5, 2005.
- 5) 安原一哉：地盤工学の気候変動対応戦略におけるカーボンニュートラル（CN）：C²X の展開へ向けて，地盤工学会誌，Vol. 72, No. 9, pp. 1-8, 2024.
- 6) グリーンインフラ官民連携プラットフォーム，国土交通省 <https://gi-platform.com/>
- 7) Komine, H., Saito, Y. and Suzuki, K.: Experimental evaluation of carbon-capture properties of industrial by-products for post-carbon society, Proc. of 9th ICGE, pp. 25-28, June, 2023, Chania, Greece.
- 8) 横井亨朱・小峯秀雄・後藤茂・王海龍・伊藤大知・鈴木清彦・國弘彩・疋田貴大：ばいじんによる CO₂ 固定化に関する実験的研究—CO₂ 固定化の反応速度に及ぼす平均粒径と Ca²⁺溶出量の影響—，地盤工学ジャーナル，Vol. 18, No. 2, pp. 97-107, 2023.
- 9) 大埜明日香・小林 薫・大和田 繁・釜土 則幸・安原 一哉：堤防の越水に対する破砕貝殻を用いた侵食・吸出し抑制に関する基礎的検討，土木学会論文集, 77-2, I_373-I_378, 2021.
- 10) 佐藤恭兵・小峯秀雄・村上哲・安原一哉・菅野将人：ベトナム北部紅河流域を想定した種々の土質材料の浸透破壊抵抗性および自然由来の繊維材の混合による補強効果の実験的評価，ジオシンセティックス論文集, Vol. 27, pp. 101-108, 2012.
- 11) 安原一哉・山田岳峰：気候変動対応策を通じた地盤工学の IPCC への貢献，第 15 回環境地盤工学シンポジウム論文集，熊本，pp. 583-590, 2023.

4. 気候変動適応策

4.1 概要

気候変動適応策の現状は，世界各地で多様な取り組みが進められている。主なポイントは下記のとおりである¹⁾。

- ◆政策の整備：多くの国や地域で気候変動に対する政策が整備されている。具体的には，気候変動適応計画や戦略が策定され，リスク評価や適応策の実施が進められている。
- ◆インフラの強化：自然災害に対する耐性を高めるためのインフラ整備が行われている。例として，洪水防止のための堤防の強化や干ばつに対する水資源管理の改善が挙げられる。
- ◆生態系の保護：生物多様性を保護し，エコシステムの回復を図る取り組みが進められている。これにより，自然の防御機能を高め，気候変動の影響を緩和することが期待されている。
- ◆地域コミュニティの参加：地元住民やコミュニティが気候変動への適応策に積極的に参加することが重要視されている。地域の知識を活かした取り組みが効果的な適応策を生むことがある。
- ◆国際的な協力：気候変動は国境を越える問題であるため，国際的な協力が不可欠である。国連の気候変動に関する枠組み条約（UNFCCC）やパリ協定に基づく取り組みが進行中と考えられる。現状では，気候変動の影響がますます顕著になっているため，適応策の強化が急務となっていることから，各国が自国の特性や状況に応じた戦略を見直し，実行することが求められている。

4.2 影響分野

日本における取り組みは政府によって図-16 のようにまとめられている²⁾。

1. 適応の総合的推進

- 国、地方公共団体、事業者、国民が気候変動適応の推進のため担うべき役割を明確化。
- 国は、適応を推進する**気候変動適応計画**を策定。把握・評価手法を開発。
- 気候変動影響評価**（概ね5年ごと）して計画を改定。

水産
業林

水資源
水環境・

生態系
自然

自然災害

健康

産業活動
産業・

国民生活

各分野において、信頼できる
きめ細かな情報に基づく効果的な
適応策の推進

2. 情報基盤の整備

- 情報基盤の中核としての国立環境研究所**

気候変動適応情報プラットフォーム



予測情報
自治体情報
適応策情報
ビジネス情報

3. 地域での適応の強化

- 地方公共団体に、**適応計画**策定の努力義務
- 情報収集・提供等を行う**地域気候変動適応センター**を確保
- 広域協議会**を組織し、国と地方公共団体等連携

4. 適応の国際展開等

- 国際協力の推進
- 事業者等の取組み・適応ビジネスの促進

図-16 日本政府における気候変動適応策の取り組みの概要²⁾

それぞれのレベルでの現状と課題は、以下のように要約される。

1. 適応策の総合的推進:政府、自治体、民間セクター間の協力が不足しているため、一貫した戦略を策定・実施することが難しい。また、予算やリソースの確保も課題である。
2. 情報基盤の整備: 気候データや影響評価に関する情報が不十分で、特に地方レベルでの情報収集と共有が不足している。データの標準化やアクセス性の向上も必要である。
3. 地域での適応策の強化: 地域ごとの特性やニーズに応じた適応策が求められるが、地域住民の意識や参加が低く実効性を持たせるためのコミュニケーションが不足している。
4. 適応策の国際的展開: 他国との連携が必要ですが、国際的な枠組みや協力体制の構築が不十分であり、技術移転や資金調達の方での課題も存在している。
5. 事業者の取り組みの推進: 事業者の気候変動への認識が低い場合があり、経済的インセンティブが不足している。また、適応策の導入に対する情報提供や支援が不足している。

これらの課題を解決するためには、政府、民間、地域社会が連携し、持続可能な取り組みを進めることが重要である。

4.3 適応カテゴリー&オプション:適応策の方法

適応策を分類する方法は広く受け入れられている方法はないが、代表的なものを紹介すると次の表-14と表-15に示す2つがある。

(1) 三村ら (S-18 における) による適応策のカテゴリー

表-14 適応策カテゴリー (三村ら, 2024) ³⁾

S-18 (その1)	S-18 (その2)
空間計画・インフラ	土地利用・空間計画
技術的対策	施設・インフラ整備 1 (グレーインフラ)
経済的対策	施設・インフラ整備 2 (グリーンインフラ)
社会的対策	技術的対策
モニタリング・現状把握	制度的対策
	経済的対策
	社会的対策
	影響予測・情報提供・住民連携

(2) 肱岡による適応策の分類

表-15 適応策の分類 (肱岡, 2022) ⁴⁾

大分類	小分類
構造的・物理的な適応策	工学・建築環境
	技術
	エコシステムベース
	サービス
社会的な適応策	教育
	情報
	行動
制度上の適応策	経済
	法と規制
	政府の方針と取り組み

【コラム：事前対応と事後対応】 ⁵⁾

表 C2 適応策における事前対応と事後対応の例

	個人/公共	事前対応の例	事後対応の例
自然環境		<ul style="list-style-type: none"> 予知 & 予測の精度向上 モニタリング技術の向上 太陽光放射管理 (SRM) 技術の導入 	<ul style="list-style-type: none"> 二酸化炭素の除去 (CDR) 技術の推進 避難システムの確立 成長期間の変化 種の変化 生態環境の緩和
人間環境	個人	<ul style="list-style-type: none"> 保険 家屋のかさ上げ (水害対応) 	<ul style="list-style-type: none"> 農業の転換 空調システムの転換
	公共	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動を含む環境教育の強化 粘り強いインフラの構築 早期警戒システムの導入 建築 (建設) 指針の変更 土地利用システムの構築 養浜 	<ul style="list-style-type: none"> 情報伝達システムの向上 避難システムの確立 地形,地質 & 土質調査システムの改善 水管理 堤防のかさ上げ

4.4 適応策の実情

4.4.1 概要

令和4年度、日本の公的な機関において公表されている気候変動適応策（添付資料1）の実情調査を行った。具体的な分析に先立って、内容を記載されている施策や技術に関する「個票」（添付資料2）に集約した。得られた調査結果をまとめた439件の「個票」のうち、革新的・システム転換的適応策に焦点を当てて分析し、現状を考察した。併せて、適応策の国際比較を行って、今後、日本における革新的・システム転換的適応策の展開を推進するための課題と解決方法を明らかにした^{6),7),8)}。

4.4.2 情報の収集と分析

情報集約は、三段階とした。まず、各省庁のホームページ（HP）に掲載されている気候変動適応計画の件数を調べた。これが第一段階である。次に、HPに掲載されている具体的な適応施策や適応技術を抽出しこれを「個票」にまとめた。これが第二段階である。情報集約、「個票」作成と分析から最終的な分析までの手順を図-17に示す⁶⁾。上述した第一段階でこれに基づいて適応計画の省庁毎の件数の割合を調べた結果によると、環境省、国土交通省及び農林水産省の順で多くなっていることがわかっている⁶⁾。

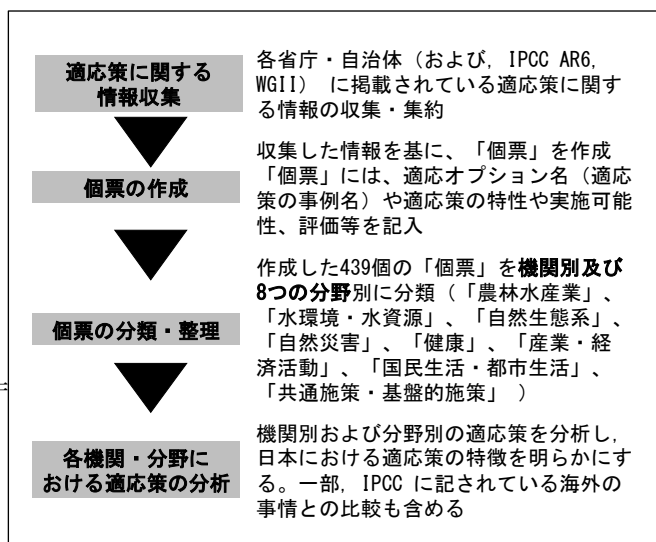


図-17 情報集約と分析の手順

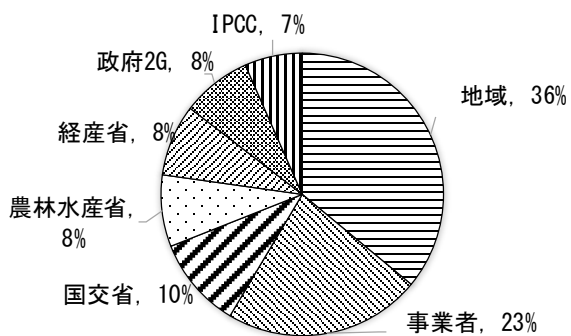


図-18 適応策の機関別割合

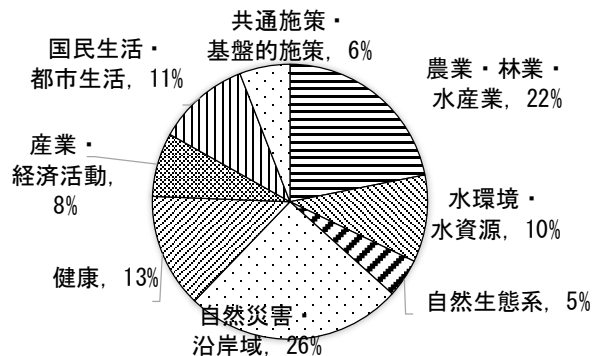


図-19 適応策の分野別割合

次に、第三段階では、各省庁のHPに公表されている具体的な適応施策や適応技術を先に報告した様式^{1),2)}に従って「個票」を作成した。令和4(2022)年11月30日の時点で、439件の「個票」を作成した。機関別の個数の割合は図-18に示すとおりである。ここで、「地域」は、国立環境研究所のA-PLATに「地域の適応」⁹⁾として掲載されている適応策事例、「事業者」とは、A-PLATに「事業者の適応」¹⁰⁾のうち「適応ビジネス」として掲載されている適応策事例と経済産業省の「適応策グッドプラクティス事例集」¹¹⁾（令和3年3月）として掲載されている2つの事例集を一つにしたもの（合計137件）を指す。

さらに、適応策の分野別割合を示した図-19から、集約された439件の適応策事例に限っては、①自然災害・沿岸域、②農業・畜産・林業・水産業（以下、農業他と表示する）、③健康の3つの分野が適応策の

主たる分野であることが分かる。

4.5 事業者が取り組む適応策

4.5.1 気候変動適応策データベースの分析概要⁶⁾

前述した日本における気候変動適応策の実情調査結果の中には、事業者が取り組んでいる適応策が約1/3 (439件中 137件) が含まれており、日本における気候適応策に関する要素技術は主として民間組織が受けもっていることが分かった。次にその詳細を記述する。

4.5.2 適応策データベースの分析結果

適応策のカテゴリー別の分析結果を分布を示した図-20によれば、a. 技術的対策が最も多く、b. 社会的対策と c. 空間計画・インフラが続いており、この3つが現在の日本における適応策の主要分野であることが分かる。

そこで、要素技術に関わっていると思われる事業者の取り組みとその特徴（特に、革新性&システム転換性に注目）を分析した結果を次に紹介する。

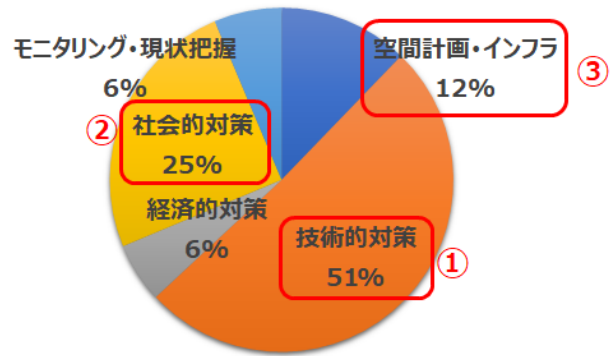


図-20 適応策のカテゴリー別の分析結果

4.5.3 適応策の革新性

IPCC における適応策に望まれていることの一つとして、適応策の革新性やシステム転換性がある。この適応策の革新性やシステム転換性については、表-16 にまとめているように2つの考え方がある。

表-16 気候変動適応策の革新性・システム転換性に関する2つの視点^{12), 13)}

Klein, R.J.T., et al. (2014) による	Fedele, G., et al. (2019) による
1. 新しい設計条件や新しい考え方を含むもの 2. 制度的に革新的なもの 3. 対策手法が画期的なもの	1. Restructuring (構造改革) 2. Path-shifting (経路転換) 3. Innovative (イノベーション) 4. Systemwide (システム横断) 5. Multiscale (階層横断) 6. Persistent (長期的視野)

このうち、Fedele ら¹³⁾による方法は、評価方法としては難解であると判断して、ここでは、Klein ら¹²⁾の提案する方法を採択し、定量評価することにした。その方法は下記の通りである。

該当した内容については評価点として1点を与え、その中でも特に革新的だと判断した内容については、評価点として2点を与えた。その後、適応策ごとに評価点の合計（革新性スコア、6点満点）を算出し、革新性スコアが2点以下のものは「低」、3点のものは「中」、4点以上のものは「高」と分類した。

図-21 は、上記の評価方法に基づいて得られた各機関における革新性程度「高」・「中」・「低」別の件数

を示している。図中の数字は、前記の方法で点数化結果から得られた平均値である。革新性の「高」と評価された適応策の事例数は事業者のものが多いものの、「低」の割合が高く、半数を超えている。一方で、政府2G（第2グループ：中間的省庁グループ）やIPCCは革新性の事例数は少ないものの、「高」の割合が高く、半数を超えていた。これは、政府やIPCCは分野横断及び省庁横断的な施策を打ち出しやすいことを反映しているためと考えられる。

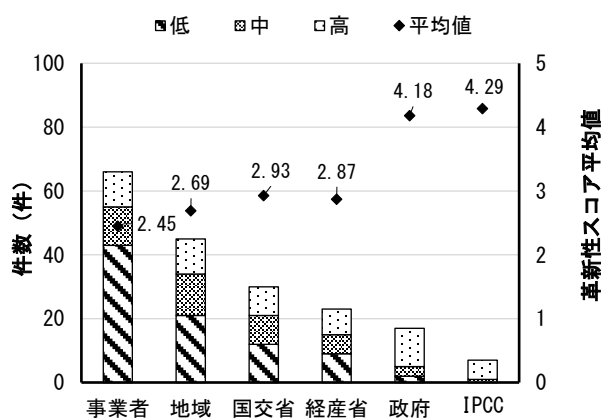


図-21 各機関における革新性程度別の件数

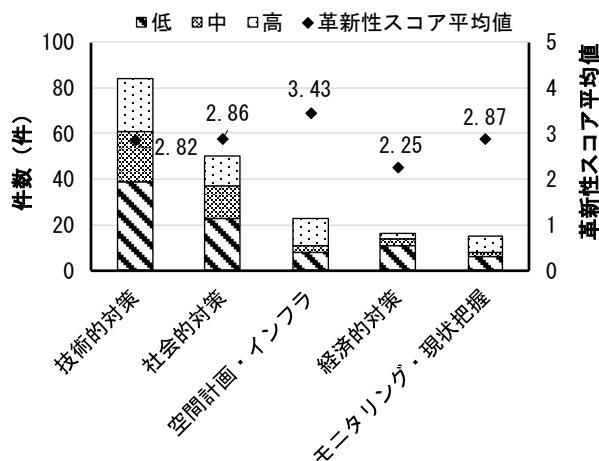


図-22 各分野における革新性程度別の件数

次に、各分野における革新性程度別の件数を図-22に示した。分野別では、自然災害・沿岸域の革新的事例数が多く、「中」及び「高」の割合は半数程度であった。日本は災害大国であり、災害対応に対して力を入れているため、より革新性程度が高い取り組みを官民ともに進めていることが分かる。一方で、自然災害・沿岸域に次いで事例数が多かった水環境・水資源分野については、「低」の割合が半数を超えており、革新的な取り組み事例が少ない。しかし、気候変動により雨の降り方が極端になることが予測されており、渇水等による水不足が深刻化する可能性がある。そのため、これらに対応すべく、水資源分野においてより革新的な取り組みを推進していく必要がある。基礎的・共通施策分野については、事例数は少ないものの、「高」の割合は8割を超えており、非常に先進的な事例が多いことが読み取れる。これは、政府2GやIPCCと同様に、横断的な取り組みを推進していることに起因していると推察される。

次に、図-23には各適応カテゴリーにおける革新性の程度別の件数を示した。事例数が多かった技術的対策及び社会的対策については、「低」の割合が半数程度であった。また、空間計画及びモニタリングは、「高」の割合が高かった。一方で、経済的対策の革新的な事例数自体は空間計画及びモニタリングと同程度であるのに対し、「高」の割合が1割程度であり、大きな違いがみられる。

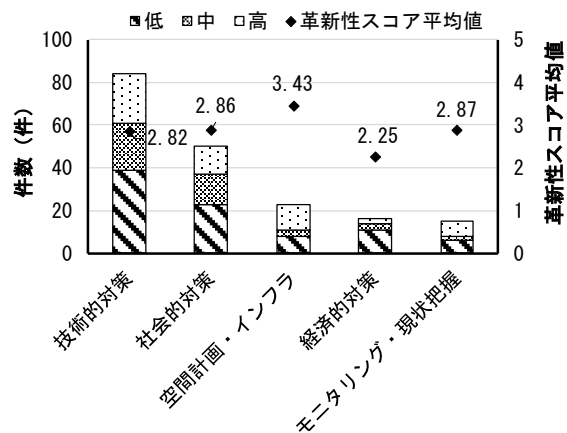


図-23 各カテゴリーにおける革新性程度別の件数

上記で分析対象とした革新的・システム転換的適応策のうち、点数の高かった例を表-17に示している。

ここから、次のような傾向が読み取れる。

- i) 日本における革新的・システム転換的適応策は、自然災害・沿岸域分野における事例が多い傾向がある。
- ii) 適応策のカテゴリーでは、技術的対策、社会的対策、モニタリング・現状把握、空間計画・インフラ、経済的対策が満遍なく取り組まれている。適応策のオプションによっては複数にまたがるオプションも見られるので、シナジー効果のある、あるいは、多目的な機能を発揮する施策や技術が含まれていることから、後述するように、このような観点からの分析をすることによって適応策のあらたな展望が開ける可能性がある。
- iii) 表中の共通の施策・基礎的施策に属する『ムーンショット型研究開発制度』の推進（文科省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（2021.6.18）」研究で得られた「知」を社会実装し、イノベーションの創出を図ることを目指したもので、画期的な取り組みと思われ、行政レベルしかできない特筆される事例である。

表-17 革新性・システム転換性の評価が高かった適応策の例⁶⁾

機関	適応オプション名	A-1 大分類	C-2 適応策カテゴリー	評価基準①	評価基準②	評価基準③	評価スコア
事業者 (経産省)	異常気象がもたらす金銭的損失を軽減する方策	農業・林業・水産業・畜産業	経済的対策	○	◎	○	4
事業者 (経産省)	水資源の減少と水害による水質汚染の両方に対応するシステム	水環境・水資源	技術的対策	○	◎	○	4
事業者 (A-PLAT)	気候変動の影響を受けるいきもの調査手法	自然生態系	社会的対策	◎	○	◎	5
地域 (A-PLAT)	生態系を活用した防災・減災	自然災害・沿岸域	空間計画・インフラ	◎		◎	4
国交省	被害対象を減少させるための対策-暴露への対応-移転する対策（流域治水）	自然災害・沿岸域	社会的対策	○	○	◎	4
事業者 (経産省)	機能性舗装材で都市型洪水軽減とヒートアイランド現象を抑制する技術	自然災害・沿岸域	技術的対策	◎		◎	4
地域 (A-PLAT)	洪水リスクと洪水保険料の低減を可能にしたコミュニティ評価システム	自然災害・沿岸域	社会的対策	◎	◎	◎	6
事業者 (A-PLAT)	環境センシングによる熱中症・感染症予防サービス	健康	モニタリング・現状把握		◎	◎	4
事業者 (経産省)	台風を利用した発電と通信衛星によるインフラの強靱化	産業・経済活動	モニタリング・現状把握	◎		◎	4
政府2G	ムーンショット型研究開発制度の推進	共通施策・基礎的施策	空間計画・インフラ	◎	○	◎	5
IPCC	気候情報のシナリオプランニングとリスク分析を視覚化し、探索するためのウェブベースツール一例 U.S. Climate Resilience Toolkit	共通施策・基礎的施策	技術的対策	○	○	◎	4

なお、表-17 における IPCC の事例は比較のために、AR6 WGII の中から注目される事例を紹介したものである。

4.5.4 適応策の国際比較

システム転換的、革新的に関連する用語として、IPCC の AR6 (WG2) (以下、AR6)¹⁾ では、system transformation (以下、システム変革) と system transition (以下、システム移行) が用いられる。前者は、SDGs の達成に必要なソリューション指向の概念として「目標や価値観の変更を含む、システムの基本的な属性の変化」、後者は「ある状態から、一定期間内に別の状態に変化するプロセス」と定義される。変革は、広範な視点で、社会の文化、制度、規範、ガバナンス、その他の広範な組織的特徴を反映するマ

クロススケールの変化で、移行はメソスケールの社会技術システムの移行とされる。

SDGsの達成に向け、気候変動にレジリエントな開発（以下、CRD）を「すべての人のための持続可能な開発を支援するため、GHGs緩和及び適応ソリューションを実施するプロセス」¹³⁾と定義し、その時間の軌跡 Pathways を CRDPs とする考え方が採用されている。システム変革を伴う CRD の構成要素として、複数の社会技術システム移行がある。CRDPs を既に追及している地域として、AR6 では、気候変動に対して特に脆弱な小島嶼国の事例が紹介されている。AR6WGII の Box.18.3 には、CRD で採用されている適応策の事例が示されている。気候変動の影響が既に深刻な小島嶼国では、システム変革が進みつつある。また労働力の移動・移民といった適応も注目される。

移住については、地球温暖化に伴い永久凍土が融解することで、計画的移住が必要になったアラスカ沿岸域の Newtok 村の事例¹⁴⁾が有名である。また、英国ウェールズの Fairbourne における海面上昇や海岸侵食の適応として将来的な移住にも繋がり得る当局と住民間の対話¹⁵⁾など、海外では、沿岸域の利害関係者間で既に適応に向けた模索や対話が始まっている。

ここで、海面上昇といった影響への適応策の Pathways の概念図を図-24 に示している。気候変動の影響が将来も変動することから、適応策についても、その時々最適な選択ができるように長期にわたるシナリオの検討が求められる。

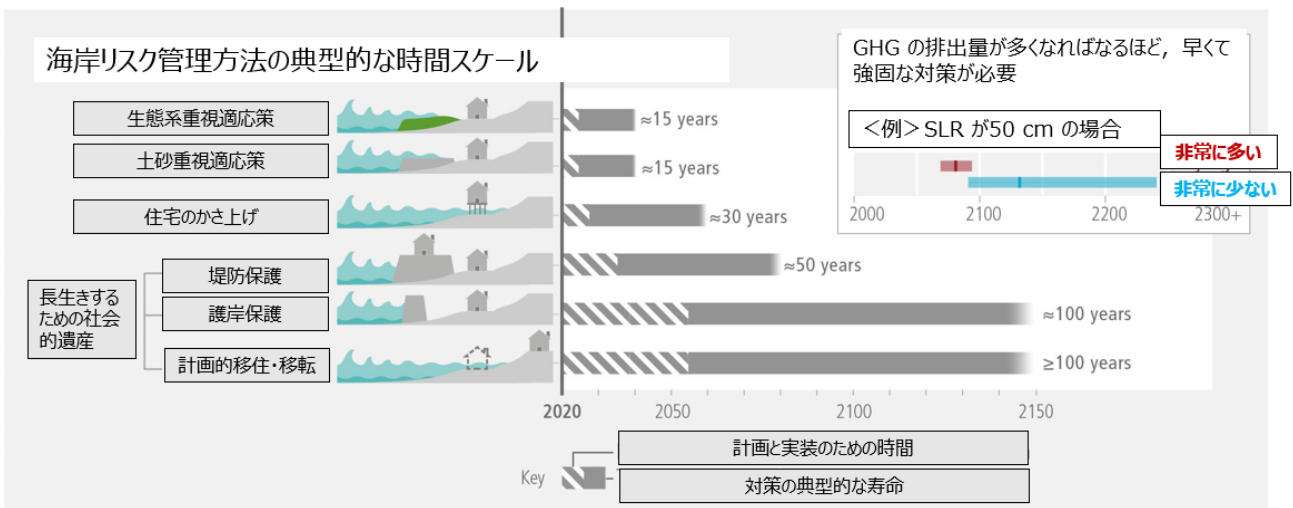


図-24 海面上昇への対応：長期計画の必要性の例¹⁶⁾

国ごとの取り組みの一例として、オランダのデルタプログラムでは、少なくとも学識者と政府の間で長期シナリオの検討が始まっている¹⁷⁾。また、例えば欧州諸国で検討が進む統合沿岸管理（ICZM）プロトコルでは、沿岸域でのセットバックが条文化されている¹⁸⁾。一方で、日本では海洋基本法第25条で沿岸域の総合的管理が謳われている。しかしながら、現状は省庁や地域の施策が混在しており、ICZMについての本格的な議論や実施が行われていない状況にあると考えられる。沿岸域では、気候変動に伴う海面上昇等の影響が特に大きくなる可能性があることから、我が国でも政策や施策の整理や統合に関わる検討が急務と言える。

表-18 には、国際比較を目的に、オランダ・Room for the river¹⁷⁾、イギリス・テムズ河口2100計画¹⁹⁾、日本・流域治水のプロジェクト²⁰⁾の概要を整理した。これらのプロジェクトの着手時期に注目すると、日本は、10年～20年遅れていることが分かる。例えば、港湾施設でも、「港湾の施設の技術上の基準の細

目を定める告示(令和6年4月改正)」をもって、漸く気候変動の影響を今後考慮することになる。また、国土交通省は、港湾地域で官民の多様な関係者が協働で目標等を定め、適応策を実施していく「協働防護」による気候変動適応を推進する方針をこちらも同様に漸く令和6年に示している¹⁷⁾。現在は多様なステークホルダーの協働、合意形成、インクルーシブガバナンスが重要になっている。流域治水プロジェクトや港湾の協働防護でも、これらの実践が注目されている。

表-18 代表的な河川計画を対象とした国際比較の例^{17),19),20)}

名	Room for the river	テムズ 河口2100計画	流域治水 プロジェクト
国	オランダ	イギリス	日本
年	2005～2015	2010～2100	2023～
概要	洪水対策を局所的に実施する代わりに、ライン川、ムーズ川、及びそれらの支流に沿って30以上の対策を実施するシステムアプローチを適用	21世紀末までの期間を3段階に分け、気候変動の進行具合に応じた段階的な取組を推進；イギリスでは2012年から適応プログラムを始動	氾濫域も含めて一つの流域として捉え、その河川流域全体のあらゆる関係者が協働し、流域全体で水害を軽減
備考	インクルーシブガバナンスを実践	毎年7000人が参加するTHAMES21が協働	行政中心に検討が開始されたところ

上記より、日本では、個々の取り組みで多くの先進的な適応策の検討が進んでいる一方で、対象が社会技術システム移行に留まっている印象を受ける。それぞれの適応策の便益、シナジー効果とトレードオフ等の関係を分析したのちに、SDGsの実現に繋がる緩和と適応のCRDの長期に亘るPathwaysを提示し、結果的に、社会の文化、制度、規範、ガバナンス等マクロスケールの改革とシステム変革への合意と、目標実現に向けた関係者の協働と努力が今後一層期待される。

最後に、気候変動の適応に官民連携で海岸侵食を防御しているPevensey Coastal Defenseプロジェクト(イギリス・ペバンゼイ市)¹⁹⁾を紹介する。当該プロジェクトは、2000年の事業開始から、25年間の期間でDesign-Build-Finance-Maintain式による沿岸保全が、民間事業者が組成したSPCで履行されている。気候変動の適応の分野でも、今後、この例のような官民連携事業を創出し促進できれば、CRDの進展が期待される。そのための関連制度の整備も、日本の喫緊の課題といえる。

4.5.5 適応策の革新性・システム転換性のまとめ

- 1) 日本における気候変動適応策は、自然災害、健康及び農業他の3分野が主たる割合を占める。
- 2) 適応策の7分野の内、自然災害・沿岸域において、革新性の事例数が多く、力点が置かれていることがうかがわれる。
- 3) 機関(政府機関、自治体、事業者)別では、数的にはバランスよく取り組まれているもの、革新性とい

う観点からは中央政府の取り組みに力強さがうかがわれる。一方、農水省や自治体での取り組みには革新性のある事例が少ない傾向にあるが、その理由は、革新的・システム転換的な適応策は、革新的であるがゆえに実装するまでに心理的ハードルが高いものも存在するため、より実践的な適応策に重点を置いて、導入を促進しようとしているためと推測される。

4) 事業者の適応策に対する取り組みは各分野に万遍なく行われており、革新的な取り組みも少なくないが、共通の施策や基礎的施策に革新性が殆ど見られない。俯瞰的な立場からの施策の提案や技術開発の提案と推進が期待される。適応技術開発の立場からは、分野や手法の融合によって、革新的・システム転換的技術が生まれてくる可能性がある。

5) 上記1)~3)を総合すると、日本では、政府機関・自治体・事業者に住民を加えた関係者が連携して革新的・システム転換的適応策を今後一層推進していく必要があると考えられる。

本文は、冒頭でも述べたように、日本における気候変動適応策の特徴うち、革新性とシステム転換性のみ焦点を当てて考察したが、考察を加えなければならない課題も山積する。例えば、(i) 適応策のシナジー効果、(ii) 適応策のトレードオフ、(iii) SDGs における他のゴールとの関係性などがあげられる。これらのうち、(i),(ii)については「個票」の中に記述されており、三村ら³⁾はすでにこのことに言及しているが、本文では整理されていない。シナジー効果については、(a) 他の適応策とのシナジー、(b) 緩和策へのシナジー、(c) 他の課題とのシナジー効果などがあることから、今後詳細に検討することが必要である。一方、iii)については、著者ら⁶⁾はすでに言及しているが、事業者目線での整理であり、関係機関別の考察も必要である。

4.6 事業者が取り組む地盤工学的適応策

4.6.1 調査から得られた特徴

表-19 分析に基づく地盤工学的適応策の事例²⁾

整理番号	適応オプション名	取得先	適応分野	適応策 カテゴリー	内容 (革新性含む)	評点	重要なキーワード
1	防災・減災に役立つ情報サービス	事業者 (A-PLAT)	自然災害 ・沿岸域	モニタリング ・現状把握	・自然災害リスクの調査から、予測診断、被害想定やリスク評価、リスク低減策の検討まで、防災・減災の実現に向けた 総合的なサービス で、“斜面崩壊対策サービス”が含まれている。	2	総合的な災害情報サービス
2	地域の防災力を強化する災害情報システム	事業者 (A-PLAT)	自然災害 ・沿岸域	モニタリング ・現状把握	・災害の段階プロセス (①平常時、②警戒時、③復旧時) を通じてトータルに防災に対する課題への解決策に応じた機能を有する地域の防災力を強化する 総合災害情報システム である。	6	総合災害情報システム
3	ネットワークカメラを活用した自然災害への事前対応システム	事業者 (A-PLAT)	自然災害 ・沿岸域	技術的対策 (ソフト)	・土砂災害に対しては、河川のリアルタイム監視によって、高解像度カメラと水分量センサーの連携を通じて、土砂に水分が入っていく過程で変化する土砂の水分量から崩壊の予兆を検知するものであり、 事前対応策 を目指している点で 革新的・システム転換的 と判断される。	5	事前対応 革新的・システム 転換的
4	リアルタイム土砂災害予測システム	事業者 (A-PLAT)	自然災害 ・沿岸域	技術的対策 (ソフト)	・都道府県が指定する「土砂災害警戒区域」の欠点を克服するために提案された数値地形モデル(DEM)を用いた表層崩壊危険度予測手法により、降雨に伴って刻々と変化する斜面崩壊の危険度(安全率)を定量的に評価することで、危険な場所をピンポイントで表示することができる。	6	リアルタイム
5	技術の融合による敷地保全・災害復旧	事業者 (A-PLAT)	自然災害 ・沿岸域	技術的対策 (ハード)	・手に入れやすい 排出資源 (① ストーンバッグ (雨水による地表面の浸食を防止)、② 鋼製しながら (緑化回復)、③ 雨水誘導マット (水流抑制)、④ 獣害対策樹アセビ (緑化植物の食害による斜面崩壊を防ぐ) を組み合わせて斜面崩壊を抑制する 多目的な経済的 災害対策技術である。	6	排出資源 多目的&経済的
6	浸水対策用「吸水土のう」	事業者 (A-PLAT)	自然災害 ・沿岸域	技術的対策 (ハード)	・袋内に吸水性のあるポリマー素材を包含した 高性能新型土のう は、短時間積みこむだけで、吸水性を発揮できる技術である。軽量かつコンパクトな形状で保存場所も要しないといった利点もあるので、大雨や洪水による浸水対策として自宅の玄関前や地下鉄の入り口などに活用できる。	4	高性能新型土のう
7	有機土壌補植による洪水抑制と生態系保護による循環型ビジネスモデル	事業者 (A-PLAT)	自然災害 ・沿岸域	技術的対策 (ハード)	・有機土壌改良剤を利用した補植によって、防風や土砂災害の抑制や生態系の回復を促し、農産物及び医薬品原料の生産能力の向上に貢献できる点で 多機能で相乗効果 を有する技術である。	6	多機能で相乗効果
8	サンドバックによる浜崖後退抑止工	事業者 (A-PLAT)	自然災害 ・沿岸域	技術的対策 (ハード)	・サンドバック (砂袋詰め工) とその背後に行う養浜盛土とを一体として構築された浜崖後退抑止工により浜崖背後の砂丘を保全する 柔軟な防御技術 である。	1	“柔軟な” 防御技術
9	未舗装道路の簡易な路面水排水技術	事業者 (A-PLAT)	自然災害 ・沿岸域	技術的対策 (ハード)	・林道など未舗装道路における排水対策技術である。路面の水を適宜左右に分散して排水することで、雨水による路面の浸食や崩壊等を防ぐとともに、作業員の人員不足や 高齢化の課題解決 にも貢献することができる技術である。	2	高齢化の課題解決
10	土壌藻類を活用した表面侵食防止工法	経産省 (GP)	自然災害 ・沿岸域	技術的対策 (ハード)	・降雨強度の増加などに伴う土壌流出や斜面の崩壊に対し、世界中に広く分布する土壌藻類を資材化し散布することで、侵食を防止し、周辺植生の侵入を促進するというユニークな技術である。 排出資源 の利用技術の一つである。	4	排出資源
11	機能性舗装材で都市型洪水軽減とヒートアイランド現象を抑制する技術	経産省 (GP)	自然災害 ・沿岸域	技術的対策 (ハード)	・破砕された廃瓦やレンガは多孔質のため、これらを使った透水性・保水性舗装材は都市型洪水の軽減やヒートアイランド現象の抑制に繋がる。 排出資源 の有効利用という視点から、複合的な機能を有する。災害軽減、ヒートアイランド対策、廃棄物対策を兼ねており、このような点からも 多機能な 技術であると高く評価できる。また、緩和策にも資する シナジー効果 を有する。	6	排出資源 多機能 or シナ ジー効果

今回調査した気候変動適応策のうち、土、土壌、土質、地盤をキーワードにした事例をまとめたものが表-19²⁰⁾である。157件中11件であるから、事例数は少ないが、次の特徴がみられる。

- 1) 適応策の分野オプション：11件すべて、④自然災害・沿岸域に関するものである。
- 2) 適応策カテゴリー：ハードウェア、ソフトウェアを含めて、a. 技術的対策が多くを占めているが、e. モニタリング・現状把握に属するものも2件取り上げられている。

適応策の革新性&システム転換性：IPCC等で適応策に求められていることの一つに、革新性&システム転換性がある。適応策の革新性評価方法としては、先に述べたように、Klein et al.¹²⁾やFedele et al.¹³⁾による方法があるが、ここでは、Kleinらの方法を採用した。それによると、革新性&システム転換性は、①「新しい設計条件や新しい考え方を含むもの」、②「制度的に革新的なもの」、③「対策手法が画期的なもの」とされているが、筆者らは、「④実施可能性の高いもの」を加えた。この評価項目に2点づつ与え、8点満点として、本データベースの事例を定量化した。その結果、6点のものが整理番号2, 4, 5, 7, 11であった。これらの中身を見ると、適応オプションの④自然災害・沿岸域に資するだけでなく、他の課題にも適応できるという“多機能性”を有していることから、“シナジー効果”が適応策の革新性&システム転換性の中で重要な位置を占めることがわかる。加えて、整理番号6や10にも見られるように、“排出資源”の有効利用を試みているものが多いのは、日本における適応策の革新性&システム転換性の特徴の一つであると考えられる。

4.6.2 シナジー効果のある革新的適応策の事例：バングラデッシュにおける事例

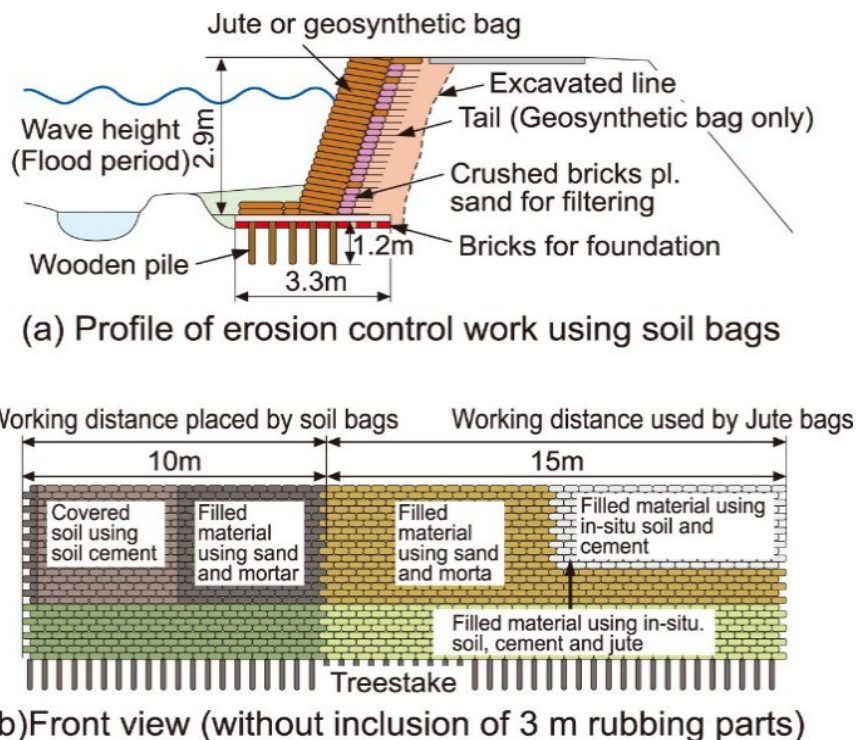


図-25 地盤工学的気候変動適応策の成功事例²²⁾

4.6.3 今後が期待されるシナジー効果のある革新的適応策の事例

上記(表-19)に挙げたリストには掲載されていないが、排出資源によるシナジー効果のある革新的適

応策の事例の一つとして、小林ら^{23),24),25),26)}のグループが取り組んでいる破砕貝殻の利用技術がある。本技術は研究段階であるが、水産業副産物であるホタテ貝殻を破砕して地盤改良や地盤補強材として利用するとともに、代表的な温室効果ガスである二酸化炭素 CO₂ の吸着能力も発揮させることによって気候変動に対応することのできる革新的技術である。図-26 に河川堤防を模擬した水害時の越波を想定した模型実験結果の一例を示している。これによると、河川堤防の裏法面に破砕貝殻を敷設することによって、砕石敷設より裏法面の防護に対して有効であることが分かる。

河川堤防の法面崩壊対策として「法面被覆工」がよく用いられているが、小高ら²⁷⁾による基礎研究によると、越流によって堤体との境界に堤体浸透に起因するパイピングが生じること、かつ、それが致命的な決壊要因となることが明らかにされていることから、破砕貝殻敷設技術によって得られる下記の効果が河川堤防被災の低減に繋がる可能性がある。

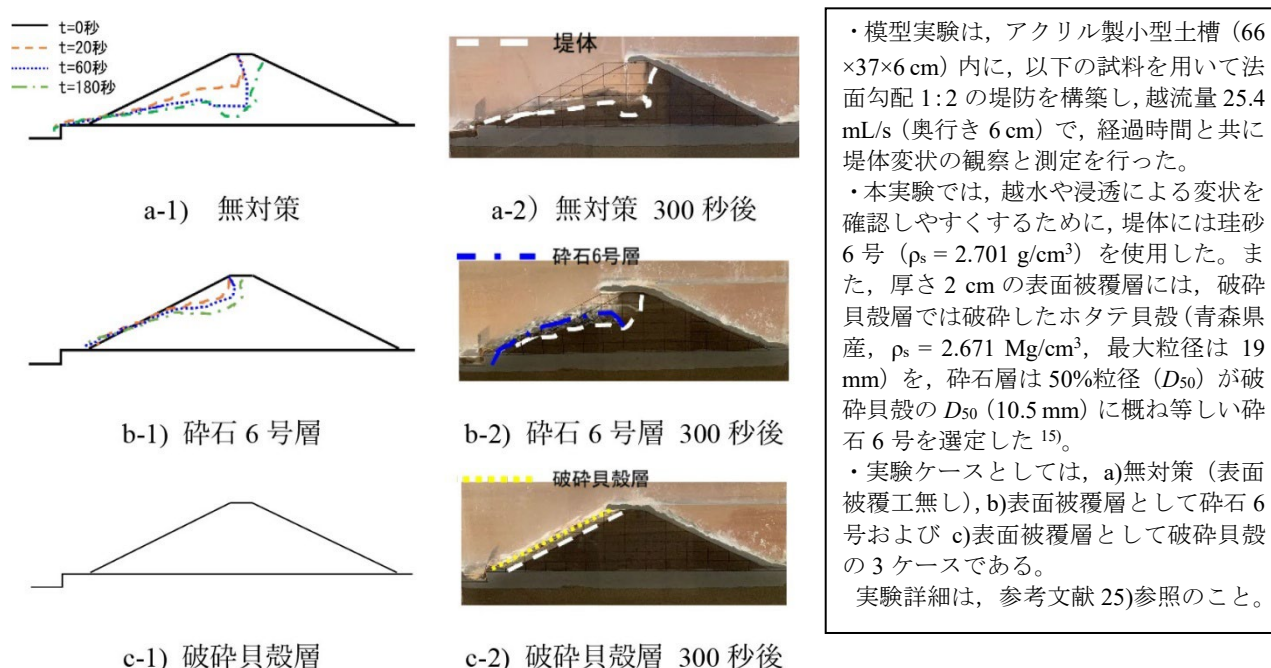


図-26 模型実験による破砕貝殻を適用した河川堤防の損傷抑制効果

- ① 難透水性表面被覆工下 (コンクリートブロック等) の吸出し防止シート設置有無によるパイピング発生抑制効果
- ② 表面被覆工として破砕貝殻層を設けた場合の堤体土の変形挙動は、礫層と異なり、実験時の越流時間 300秒経過後でも堤体土の変形はほとんど無かった。これは、破砕貝殻層と礫層では、1) 粒子間隙の形状、2) 表面被覆工による堤体土表面の押さえ効果が異なることが小規模実験で明らかにしている。このことから、越流水が小さい越流実験 (水深=0 cm、表面被覆工内に水深) において、礫層時には堤体土の侵食 (以下、「洗い出し」と呼ぶ) が進行したのは、越流時の吸い出し現象と推測される。この「洗い出し」現象がパイピングの発生メカニズムの抑制効果が期待される。
- ③ 透過性表面被覆工によるパイピング発生抑制効果 (破砕貝殻を用いると、吸出し防止シートも必要なくなる可能性もある)

なお、ここで紹介した排出資源利用技術の革新性・システム転換性は次の通りである。

- i) 水産業副産物であるホタテ貝殻を有効利用することで、環境負荷低減と災害低減のシナジー効果があること
- ii) 気候変動適応策（水害低減）と緩和策（GHGs 吸着）の両方に有効というシナジー効果を有すること
- iii) 上記から、流域治水に資する具体的な技術として地域のレジリエンス強化に貢献できること

参考文献

- 1) 1) IPCC 6th Assessment Report, https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf, 2023年5月24日閲覧.
- 2) 肱岡靖明：気候変動への「適応」を考える 不確実な未来への備え, p. 55, 丸善出版, 2021.
- 3) 三村信男・榎田容子・真砂佳史・藤田昌史：気候変動適応策オプション・データベースの構築と適応策の現状分析, 第32回地球環境シンポジウム論文集, pp. 57-62, 2024.
- 4) 肱岡靖明：気候変動への「適応」を考える 不確実な未来への備え, p. 29, 丸善出版, 2021.
- 5) 田村 誠・三村信男：気候変動への対応とサステナビリティの課題, 電子情報通信学会誌, Vol.93, No.1, pp.61-66, 2010.
- 6) 安原一哉・浅田寛喜・岸田隆夫・足立雅樹・山田岳峰・小浪岳治：気候変動適応策の革新性・システム転換性の分析と考察, 第32回地球環境シンポジウム論文集, pp. 47-52, 2024.
- 7) 安原一哉・足立雅樹：土, 地盤および土構造物に関する気候変動適応策の事例と考察, 第21回地盤工学会関東支部研究発表会 (Geo-Kanto 2024) 講演概要集, 2024.
- 8) 安原一哉・足立雅樹・浅田寛喜・岸田隆夫・山田岳峰・小浪岳治：気候変動に対する地盤工学的適応策の事例分析と考察, 第15回環境地盤工学シンポジウム論文集 (投稿中), 2025.
- 9) <https://adaptation-platform.nies.go.jp/local/area.html> (2025.4.14 閲覧)
- 10) https://adaptation-platform.nies.go.jp/private_sector/opportunities/index.html (2025.4.14 閲覧)
- 11) https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/pdf/JCM_FS/R3FY_adaptation_practice_Japanese.pdf (2025.4.14 閲覧)
- 12) Klein, R.J.T., G. F. Midgley, B. L. Preston, M. Alan, F. G. H. Berkhoout, K. Dow, and M. R. Shaw: Adaptation opportunities, constraints, and limits. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, IPCC WGII Fifth Assessment Report, Cambridge University Press, pp. 899-943, 2014.
- 13) Fedele, G., Donatti, C. I., Harvey, C. A., Hannah, L., and Hole, D. G.: Transformative adaptation to climate change for sustainable social-ecological systems, Environmental Science and Policy, 101, pp.116 – 125, 2019.
- 14) Ruane, A. C., Vautard, R., Ranasinghe, R., Sillmann, J., Coppola, E., Arnell, N., et al.: The Climatic Impact-Driver Framework for Assessment of Risk-Relevant Climate Information, Earth's Future, Volume 10, Issue 11, 2022. DOI: 10.1029/2022EF002803.
- 15) Arnall, A., & Hilson, C.: Climate change imaginaries: Representing and contesting sea level rise in Fairbourne, North Wales, Political Geography, 102, 102839, 2023.
- 16) IPCC: AR6 Synthesis Report (SYR) , Figs.3&4, 2023. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>, 2024年7月19日閲覧.
- 17) Haasnoot, J., Kwakkel, J., Walker, W., & Maat J.: Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world, Global Environment Change, 23, pp. 485-498, 2013.
- 18) Rochette, J., Puy-Montbrun, G., Wemaëre, M. & Billé, R.: In Coastal setback zones in the Mediterranean: A study on Article 8-2 of the Mediterranean ICZM Protocol, IDDRI analyses, No. 05, 2010.

- 19) https://www.mlit.go.jp/report/press/port07_hh_000214.html, 2024年7月19 日閲覧.
- 20) <https://pevensey-bay.co.uk/index.html>, 2024年7月19日閲覧.
- 21) 安原一哉・足立雅樹：土、地盤および土構造物に関する気候変動適応策の事例と考察，第21回地盤工学会関東支部研究発表会（Geo-Kanto 2024）講演概要集，2024.
- 22) 松島健一・毛利栄征・堀俊和・有吉充・中津克彦・山田耕士：バングラデシュにおける農村道路の波浪侵食対策に関するパイロット試験，ジオシンセティックス技術情報，27(1), 27-36, 2011. 3
- 23) 大埜明日香・小林 薫・大和田 繁・釜土則幸・安原一哉：堤防の越水に対する破碎貝殻を用いた侵食・吸出し抑制に関する基礎的検討，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.77, No.2, pp. I_373-I_378, 2021.
- 24) 小林 薫・原 龍正・松元和伸・安原一哉：ホタテ貝殻の地盤工学的活用による環境保全と超浅層地盤内へのCO₂固定化，土木学会論文集，Vol.79, No.27, pp.1-9, 2024.
- 25) 大埜明日香・小林 薫・松元和伸・森井俊広：貝殻を用いたキャピラリーバリア土層で被覆された堤体法面における雨水浸透抑制効果、地盤工学ジャーナル，Vol.19, No.1, pp. 17-32, 2024.
- 26) 小林 薫・原 龍正・松元和伸・釜土則幸・足立雅樹・本多顕治郎・安原一哉：河川堤防裏法面浅層部への貝殻を用いたキャピラリーバリア土層構築による雨水浸透抑制を兼ねた CO₂ 固定化，地盤工学会誌，Vo. 72, No. 9, pp.33-39, 2024.
- 27) 岡本 隆明・夏目 将嗣・小高 猛司・李 圭太・松本 知将・山上 路生：堤防法尻侵食に伴う越流水の流れ構造の変化と法尻保護工の効果に関する実験的研究，土木学会論文集/81 卷 16 号，論文 ID: 24-16115, 2025.

5. 今後の展望

5.1 SDGs における気候変動対応策の位置づけ

▲ 進んでいる (5点),
 ▶ やや進んでいる (4点),
 ▶ 現状維持 (3点),
 ▼ 遅れている (0点)



図-27 日本における SDGs への取り組みに関する国際的評価

先に述べたように、気候変動への取り組みは、17ゴールのうち、13番目に掲げられている¹⁾。国連の機関では、毎年、世界各国のSDGsの取り組みの実情を紹介している(Global Sustainable Development Report (GSDR)²⁾。図-27は、このレポートの2022-2024年3年分の評価結果をまとめたものである。図-27でも分かる通り、日本におけるSDGsの“ゴール13.気候変動へ対策を”の取り組みの評価は高くない。なお、図中の評価点数は筆者ら独自によるもので、次の5~0点を配転基準としている。

本件に関連して先に調査した事業者の取り組みのうち、13.気候変動に関する取り組みと他のSDGsの取り組みとの関係性を調査した。その結果を示したものが図-27である。この調査では、前記137件の事業者の適応事例とSDGsとの関係性を調査し、16項目(17項目のうち、“13.気候変動に具体的な対策を”は省いた)の個数を数えて、特性分析を行った。図-28は事例の個数が多いもの順に並べたものである。図-28からは、①件数の多いゴール、②ほどほどのゴールと③件数の少ないゴールの3グループに分類できること、また、(i)事業者の貢献できているゴールと(ii)そうでないゴールとがあることが明確になった。一方、事例数の少ないゴールは事業者が不得手なゴールで、行政の尽力なしには達成できないものということがわかる。

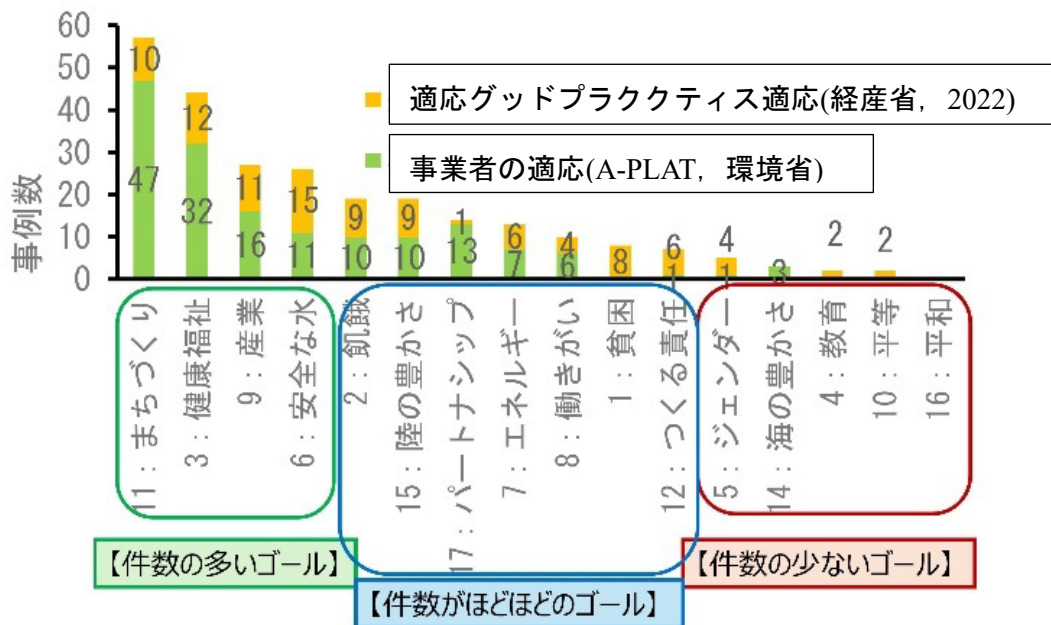


図-28 適応策と関係するSDGsの個数 (事例個数順)

◆事業者の力を入れているSDGs

- 11. 住み続けられるまちづくりを
- 3. すべての人に健康と福祉を
- 9. 産業と技術革新の基盤を作ろう
- 6. 安全な水とトイレを世界中に

事業者が得意とする分野
 > 技術開発は事業者任せ
 > 施策は行政が担当

◆事業者の力が入っていないSDGs

- 4. 質の高い教育をみんなに
- 10. 人や国の不平等をなくそう
- 16. 平和と公正をすべての人に

事業者があまり得意でない分野
 > 行政の責任において実施する
 > 事業者が支援を要請する

図-29 事業者が力を入れているSDGs

期待されるSDGs

- 1. 貧困をなくそう ▶ I, VII, V
- 2. 飢餓をゼロに ▶ I, IV, V, VI, VIII
- 7. エネルギーをみんなに。そしてクリーンに ▶ V, VI, VIII
- 8. 働きがいも経済成長も ▶ V, VI, VIII
- 12. つくる責任、つかう責任 ▶ V, VI, VIII
- 15. 陸の豊かさを守ろう ▶ I, III, V, VI
- 17. パートナシップで目標を達成しよう ▶ IV, VI, VIII

適応策分野

- I 農業、林業、水産業
- II 水環境・水資源
- III 自然災害・沿岸域
- IV 健康
- V 産業・経済活動
- VI 国民生活・都市生活
- VII 自然生態系
- VIII 共通施策・基盤的施策

図-30 事業者の貢献が期待されるSDGs

図-28のうち、件数の少ないゴールは今後事業者の取り組むべき課題と判断される。上記の考察からこれらのゴールと適応策分野の関係を図-29と図-30にまとめた。ここから、事業者が今後取り組むべき分野がどこにあるかが示唆される。

5.2 IPCCの実情

IPCCの実情については、これまでの章で断片的であるが紹介してきたので、ここでは、地盤工学に関連する実情に特化して紹介したい。

土壌、土質および地盤地盤工学や地盤技術に共通するものは“土”であるが、IPCC AR⁴⁾における“土”に関する明示的な記述は極めて少ない。その理由は次の点が考えられる。

- 1) 水は気候変動の「直接的」な影響を受けやすく、これは降水パターンの変化、極端な干ばつ、洪水、雪解けのタイミングに密接に関連している。水資源は人間の生活（飲料水、農業、エネルギー）にとって不可欠であり、その影響は即座に広範囲に現れるため、政策の注目を集める焦点となっている。
- 2) 土壌は「間接的」なプロセスと複雑な相互作用を含む。土壌の変化は、温度、降水、土地利用、農業慣行などの複雑な要因の合計の結果として発生するため、評価が難しい。変化はしばしば徐々に、長期的に、局所的に起こるため、「視覚化とコミュニケーションが難しい」という側面もある。
- 3) 観測データとモデルの限界。水資源は観測ネットワーク、衛星、および気候モデルを通じて比較的（相対的に）正確に扱うことができるが、土壌条件（例えば、土壌水分、有機物含量、微生物活動など）は地域的な変動が大きく、モデル化が難しい。このため、信頼できるグローバルな評価が今の段階では難しいままになっている。
- 4) 「評価報告書（AR）」の焦点は「リスク」、「脆弱性」、および「適応」にあり、「人間社会へのリスクと影響」に中心を置いている。水は生命に直接関わり、都市や農村、産業に大きな影響を与えるため、土壌に比べてリスクとして視覚化しやすい。

上記のように、IPCC ARには土に関する記述が少なく、改善される方向にはなっていないが、例外として、下記のような記述も見られる。

- ① 先に示した図-4と図-5に示した通り、降雨特性とそれに伴う土壌水分（Soil moisture）の変化に関する記述があるが、農作物の生産への影響で、地すべりや斜面災害などの地盤災害（土砂災害）に関する記述はほとんど見られない。ただ、図-4と図-5で、傾向がともに二極化(Polarization)していることに留意する必要がある。降雨についていうと、猛烈な雨の地域が増えると共に、渇水をもたらす地域がともに増えることを示唆している。この点は、地盤に関わる技術者も留意しておく必要がある。
- ② 土壌は土地利用およびLULUCF⁴⁾（Land Use, Land-Use Change, and Forestry：土地利用、土地利用の変化および森林の保全）でも強調されている。特に、IPCC AR6 WGIII（緩和）では、土壌の炭素隔離や土地利用の影響に関する記述が増加している。しかし、それにもかかわらず、「気候影響評価」に関する一般的な章では、水が圧倒的に頻繁に取り上げられている。

これらの実情を踏まえて、地盤工学に関わる技術者・研究者は土、土壌、地盤や土構造物が気候変動との関わりを明確にする必要がある。このことが気候変動への対応における土の重要性と役割を広く認知されることに繋がると考えられる。

5.3 政策反映型研究と技術開発への意識づけ^{5),6)}

周知の通り、気候変動は国境を超える地球規模の課題であることから、日本におけるCNに関する施策や技術の取組みがIPCCやCOPなどの国際的な機関に反映されることが必要である。革新的なCN施策やCN技術に加えて適応施策や技術を含めた提案を行うことを念頭に置いて、日本地盤工学会と国際地盤工学会が戦略的な取組みを行う必要がある。その意味では、CNを含めた気候変動対応に関しては、政策反映型(Policy-oriented)研究の必要性が強調されなければならない(図-31)。このことを

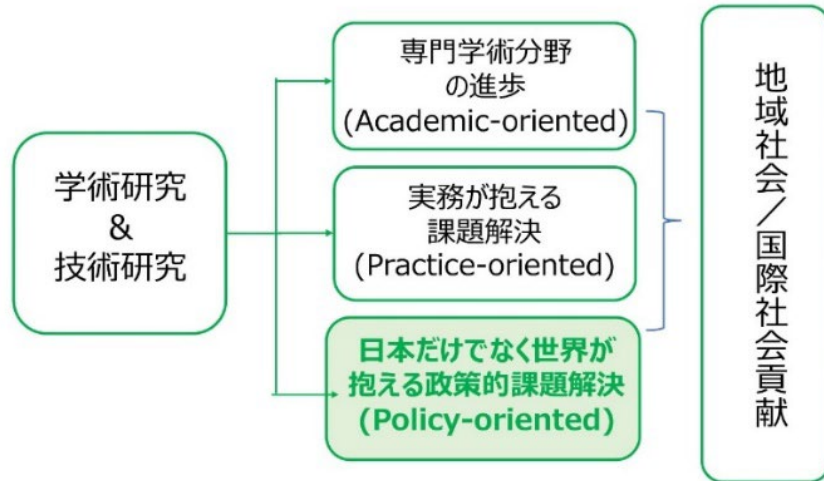


図-31 気候変動対応における政策反映型研究の必要性^{5),6)}

念頭に置けば、図-32に示す地盤工学の実情を改善できると考えられる。言うまでもなく、気候変動



図-32 IPCCにおける地盤工学の現状と改善策^{5),6)}

問題は多くの分野や課題に関わることなので、政策担当部署の横の連携が不可欠である。そこで作成されたトランス・ミニストリー戦略(Trans-ministry)の考え方に基づく施策と技術(トランス・エンジニアリング, Trans-engineering)という新たな考えに基づく施策と技術開発を目指す必要がある。なお、ここで

言う、トランス・ミニストリー戦略（TMS）とは、省庁や部署間をまたがる戦略を意味している。また、トランス・エンジニアリングとは、トランス・サイエンス（Trans-science）^{7),8)}から援用したもので、いずれも筆者らの一人（安原）の造語である。

5.4 まとめ

- 1) 気候変動適応策は、緩和策と適応策に大別される。CN は緩和策に含まれるが、二つは気候変動対応策の両輪であり、二つの政策や技術の効率的な展開においては、両者の補完や融合が必須である。
- 2) 現在の国内事情（特に、食糧事情やエネルギー事情）や国際情勢を考えると、政府の掲げる「2050年CNの実現」は簡単ではないと予想されるため、気候変動の影響を低減するための適応策を並行して講じていく必要がある。この際、“カーボンニュートラル”が地球温暖化によってもたらされると考えられる気候変動の要因を取り除く緩和策の代表的キーワードであるなら、適応策としては、影響を低減するための“レジリエンス”が代表的キーワードである。しかしながら、地盤工学的貢献の現状を踏まえると、研究の方向が緩和策に偏っていることから、適応策としての既成の技術を整理するとともに、必要に応じた改善に更に力を注ぐ必要がある。事実、IPCC では、気候変動にレジリエントな開発（Climate Resilient Development：CRD）の必要性が強調されている。
- 3) 地盤工学からのCNなどの緩和策への貢献という視点からは、産業廃棄物や災害廃棄物などの排出資源の有効利用が有望である。技術の適用分野や適用方法によっては、緩和と適応（レジリエンスの向上や地盤災害低減を目指した地盤改良等を含む）の両方に資するシナジー（相乗）効果を発揮できる新しい技術開発につながる可能性がある。日本において“排出資源”の有効利用を試みているものが多くなっているのは、日本における適応策の革新性&システム転換性の特徴の一つであると考えられる。
- 4) 地盤工学の立場から、CNを中心とした気候変動緩和策と適応策を提案していくにあたっては、3)で強調したシナジー効果のある施策や技術を採用する努力が必要である。併せて、施策や技術の提案と実践にあたっては、トレードオフ（気候変動分野でのMal-adaptation（不適切な適応）がリスクを増大させたり、新たなリスクを作り出すこと）をもたらしさないことに留意する必要がある。
- 5) 政策反映を意識した技術開発を推進し、その成果を地盤工学会として気候変動に関する国際ジャーナルに戦略的に投稿することによって、IPCCなどの国際的組織に地盤工学の果たす役割がより広く認知されることに繋がる。

参考文献

- 1) 例えば、<https://www.unicef.or.jp/kodomo/sdgs/about/>（令和6年11月30日閲覧）
- 2) <https://dashboards.sdgindex.org/>（令和6年11月30日閲覧）
- 3) 安原一哉・浅田寛喜：日本における気候変動適応策とSDGsとの関係性：事業者の立場から、令和6年度土木学会全国大会第79回年次学術講演会講演概要集，[CS15-15]，仙台，2024。
- 4) <https://unfccc.int/topics/land-use/workstreams/land-use--land-use-change-and-forestry-lulucf>（2025年6月2日閲覧）
- 5) 安原一哉・山田岳峰：気候変動対応策を通じた地盤工学のIPCCへの貢献，第15回環境地盤工学シン

ポジウム論文集, 熊本, pp. 583-590, 2023.

- 6) 安原一哉: 地盤工学の気候変動対応戦略におけるカーボンニュートラル (CN): C²X の展開へ向け
て, 地盤工学会誌, Vol. 72, No. 9, pp. 1-8, 2024.
- 7) Weinberg, A.M. Science and trans-science. *Minerva* 10, 209–222 (1972). <https://doi.org/10.1007/BF01682418>
- 8) 松岡俊二: トランス・サイエンス的課題としての気候変動問題, 『アジア太平洋討究』, No. 44, pp. 101-
116, 2022.

あとがき

はじめにも述べたように, LRR1 では, 2019 年創設以来, 防災・減災と気候変動対応を大事な課題として取り組んできた。このうち, 令和 4 年度と令和 5 年度に茨城大学から受託した気候変動対応への取り組みに関する調査に基づく分析結果と考察を学会での研究発表などを通じて公表してきた。このうち, 日本における

- i) 気候変動適応策の革新性・システム転換性を明らかにしたこと
- ii) 事業者が取り組む適応策の実情を明らかにしたこと
- iii) SGGs における気候変動対策と他のゴールとの関係性を明らかにしたこと
- iv) 地盤工学分野における革新性・システム転換性として排出資源を利用したシナジー効果のある技術
が有望であることを明らかにしたこと

は, この分野において今までに見られない成果と考えられる。これらの成果は, 事業者が SDG₅ の分野や気候変動の分野において, 今後取り組むべき新たな課題とそれにかかわる技術開発の方向性を明らかにしている点で, 会員に有益な情報を提供すると考える。得られた具体的な知見を要約すると下記の通りである。

- 1) 日本における気候変動適応策の主たる分野オプションは, 自然災害・沿岸域, 農業他, 健康の三分野である。また, 適応策のカテゴリーでは, 技術的対策が過半数を占め, 社会的対策と空間計画・インフラ対策が続いている。
- 2) 日本における事業者が取り組む気候変動適応策の中には地盤工学に関連する技術は少ないが, 多くは自然災害に関するものである。また, 地盤工学に関する学会の発表は, 緩和策に偏っており, 適応策に属するものは極めて少ない。
- 3) 適応策の革新性・システム転換性という立場からは, 多目的でシナジー効果のある技術がいくつかみられるが, この場合も殆どが自然災害・沿岸域に属するものである。
- 4) シナジー効果のある技術には, “排出資源”を有効利用されたものがあり, 中には, 適応策と緩和策に資する点など多目的でシナジー効果を発揮できる技術があり, 日本的な技術として今後の一層の展開が期待される。
- 5) これらの技術を中心に据えて政策反映を意識した技術開発を推進し, その成果を地盤工学会として気候変動に関する国際ジャーナルに戦略的に投稿することによって, IPCC などの国際的組織に地盤工学の果たす役割がより広く認知されることにつながると考えられる。

【添付資料1】適応策の収集先一覧

対象省庁	収集先	
政府	・環境省	・気候変動適応計画 https://www.env.go.jp/content/900449799.pdf
	・外務省	https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000074926.pdf
	・文部科学省	https://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa202101/detail/1421221_00010.html
	・厚生労働省	https://www.mhlw.go.jp/content/12602000/000921648.pdf
	・総務省	https://www.soumu.go.jp/main_content/000809338.pdf
	・総務省情報流通行政局	http://www3.keizaireport.com/report.php/RID/508583/
国土交通省	・国道交通省 水管理・国土保全 流域治水プロジェクト https://www.mlit.go.jp/river/kasen/ryuiki_pro/index.html	
	・流域治水プロジェクト（国土交通省）について https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/5197066.pdf	
	・国土交通省気候変動適応計画 https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_fr_000130.html	
	・農林水産省気候変動適応計画(令和3年10月27日改訂) https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/adapt/top.html	
経済産業省	適応グッドプラクティス事例集 https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/adaptation_goodpractice_FY2020JPN.pdf	
環境省・国立環境研究所A-PLAT 「事業者の適応」	https://adaptation-platform.nies.go.jp/private_sector/database/opportunities/index.html	
環境省・国立環境研究所A-PLAT「適応策データベース」	https://adaptation-platform.nies.go.jp/db/measures/index.html	
IPCC第6次報告書	IPCC AR 6 Ch. 18 https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/	

注) 情報の収集は、令和4年11月30日までに実施したものである。

【添付資料2】：気候変動適応策の分類・整理シート「個票」



記入日				
記入者				
適応策オプション				
A. 対象分野	主たる分野	A-1 大分類	「農業・林業・水産業」, 「水環境・水資源」, 「自然生態系」, 「自然災害・沿岸域」, 「健康」, 「産業・経済活動」, 「国民生活・都市生活」, 「共通施策・基盤的施策」	
		A-2 中分類		
		A-3 小分類		
	関連分野 ①	A-1 大分類		
		A-2 中分類		
		A-3 小分類		
	関連分野 ②	A-1 大分類		
		A-2 中分類		
		A-3 小分類		
B. 気候変動影響と影響出現メカニズム	B-1 対象影響要素 (ハザード)			
	B-2 影響出現のメカニズム			
	B-3 関連分野			
C. 適応策オプションの特性・実施可能性	C-1 適応策オプションの内容			
	C-2 適応策カテゴリー		「社会的対策」, 「技術的対策」, 「空間計画・インフラ」, 「経済的対策」, 「モニタリング・現状把握」	
	C-3 実施主体			
	C-4 適応策オプションの実施地域			
	C-5 適応策オプションの実施時期			
	C-6 他の適応策との相乗効果(S)/トレードオフ(T)			
	C-7 特記事項			
D. 適応策オプションの評価	D-1 戦略性		「漸進的・改良的」, 「革新的・システム転換的」	
	D-2 緩和策との関係			
	D-3 他の社会的課題との関係			
	D-4 特記事項			
E. 出典				

【添付資料 3-1】日本における気候変動適応策の例

通し 番号	分野	中分類	適応オプション	対象機関名
1	①農業・林業・水産業	農業	イネ縞葉枯病の総合防除体系の構築を支援するマニュアル（水稲の病害虫対策）	農林水産省
2			気候変動に対応する農業技術の開発と普及	環境省・国立環境研究所
3			資源循環型生産モデルによる持続可能な農業の構築	経済産業省
4		林業	路網整備の推進（山地災害、治山・林道施設の気候変動適応対策）	農林水産省・林野庁
5		水産業	気候変動に対応した漁場整備方策に関するガイドライン（造成漁場の気候変動対応）	農林水産省・水産庁
6		畜産業	飼料作物病害図鑑（畜産（飼料作物）の温暖化対策）	農林水産省・農研機構
7	②水資源・水環境	水資源	水資源の減少と水害による水質汚染の両方に対応するシステム	経済産業省
8			分散型給水システムの導入による安全な飲料水の確保	環境省・国立環境研究所
9		水環境	オゾンを利用した水質浄化システム	環境省・国立環境研究所
10	③自然生態系	自然生態系	サンゴ礁維持のための保険	環境省・国立環境研究所
11		自然生態系	気候変動の影響を受けるいきもの調査手法	環境省・国立環境研究所
12		陸域生態系	高山生態系のモニタリング調査	環境省・国立環境研究所
13	④自然災害・沿岸域	自然災害	氾濫を防ぐための対策-ハザードへの対応-しみ込ませる対策（流域治水）-	国土交通省
14		自然災害	ネットワークカメラを活用した自然災害への事前対応システム	環境省・国立環境研究所
15		自然災害	江戸川区における大規模水害時の自主的広域避難の推奨	環境省・国立環境研究所
16		自然災害	激甚化・頻発化する豪雨災害に伴う橋脚の沈下・傾斜の常時監視	国土交通省
17		自然災害	内水氾濫監視システムおよび近未来 A I 水位予測	国土交通省 一般社団法人河川情報センター
18	⑤健康	感染症	感染症対策総合的ベクター管理技術（感染症増加対策）	経済産業省
19		感染症	熱中症等の危険性を知らせる機能を搭載した警報システム	環境省・国立環境研究所
20		暑熱	児童・生徒を守るLoRaWAN™を活用した「熱中症対策」トリアル	環境省・国立環境研究所
21	⑥産業・エネルギー・経済活動	エネルギー	ハイブリッド再生可能エネルギー発電制御システム	経済産業省
22	⑦国民生活・都市生活	建設業	「屋根散水システム」による暑熱対策	環境省・国立環境研究所
23		都市インフラ・ライフライン等	災害時に便利な軽量でポータブルな配線不要のモバイルバッテリー	環境省・国立環境研究所
24		国民生活・都市生活	室内熱中症から子どもたちを守る外付け日よけ	環境省・国立環境研究所
25		国民生活・都市生活	電力需要変動への対応	環境省・国立環境研究所
26	⑧共通の施策・基礎的施策	研究・開発	ムーンショット型研究開発制度の推進	文部科学省
27		研究・開発	スーパーコンピュータ等を活用した気候変動の予測技術等の高度化	文部科学省
28		研究・開発	気候変動への対応技術の開発と経済・社会活動への波及	文部科学省
29		その他	気候変動及び SDGs とパリ協定の枠組みにおけるデジタル技術の評価	総務省
30	⑨適応オプションの融合、適応分野の相乗 & 適応と緩和の相乗	適応オプションの融合	土壌藻類を活用した表面侵食防止工法	経済産業省
31			ロス & ダメージへの貢献を目指す災害早期警戒システム	
32		適応分野の相乗	耐水害住宅	環境省・国立環境研究所
33			水害の低減と水不足の解消の両方に資する雨水貯留システム	経済産業省
34	適応と緩和の相乗	緩和と適応の両方に資する排出資源利用技術	その他（LRRI）	

【添付資料 3-2】日本における気候変動適応策の例(追記集) (【添付資料 3-1】に基づく)

適応策オプション追記集 No. 1

記入者	小浪岳治	記入日時	2022. 11. 11	「個票」との対応ページ	53
適応策オプション名	イネ縞葉枯病の総合防除体系の構築を支援するマニュアル				
適応策オプションの詳細					
<p>「農新農業技術・品種 2021」では 21 件の技術 6 件の品種、合計 27 件の優れた研究成果を選定し、公表している。</p> <p>その一つとして、以下のポイントを記載した農研機構の「イネ縞葉枯病の総合防除体系の構築を支援するマニュアル」がある。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 総合的管理技術の中核技術を解説するとともに、地域の特徴に応じて体系化するための最新の技術情報を紹介。 ② イネ縞葉枯病の見分け方から伝搬の仕方、保毒虫検定法まで、イネ縞葉枯病に関する情報を幅広く解説。 ③ 講習会や研修会で寄せられた質問とそれに対する回答を掲載した FAQ により、読み手の疑問を直ちに解消。 ④ 農研機構のウェブサイトに公開されたウェブマニュアルであり、常に最新の情報を掲載。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>例えば、イネ縞葉枯病の病徴と見分け方、紛らわしい症状との区別の仕方、媒介虫であるヒメトビウソカの特徴や他の害虫との見分け方など、写真を豊富に使ってわかりやすく解説。</p>					
出典					
<p>農林水産省 農新農業技術・品種 20121 https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/new_tech_cultivar/2021/#01 農研機構「イネ縞葉枯病の総合防除体系の構築を支援するマニュアル」 https://ml-wiki.sys.affrc.go.jp/rsv_web/manual/start</p>					

適応策オプション追記集 No.2

記入者	浅田寛喜	記入日時	2022. 11. 11	「個票」との対応ページ	7
適応策オプション名	気候変動に対応する農業技術の開発と普及				
適応策オプションの詳細					
<p>青森県立名久井農業高等学校の環境研究班では、発展途上国等における食糧や環境問題の解決に貢献できる技術開発の一つとして、以下の2つのシステムを開発した。</p> <p>① 水質浄化と食糧生産を同時に行えるハイブリットシステム トウモロコシやインゲンマメなどの生物の力を利用して、富栄養化の原因となる窒素やリン等を肥料として回収し、水質の浄化を行うとともに、食糧生産の両立を図った。</p> <p>② 三和土を使った機能性集水システム 降水量の少ない地域には、作物が育つのに必要な水を雨から集めるための集水工法（西アフリカでは「Zai（ザイ）」と呼ばれている。）がある。土に穴を掘って小さな土手を築き、そこに雨水を誘導する工法である。しかし、土壌の耐久性が低いため、水の安定的確保に課題がある。そこで、日本伝統の三和土（たたき）を利用して土壌を固化させて土壌流出を抑制する機能性集水システムを開発した。また、施肥効果を高めるため、有機質肥料である乾燥牛糞堆肥（アイリスオーヤマ株式会社）と草木灰（朝日工業株式会社）を三和土に添加した</p> <p>※三和土：古くは「赤土や砂利」に「石灰」と「にがり」を加えたものを叩き固めてつくるもの 日本の伝統技術である三和土を活用することにより</p>					
					
「Zai（ザイ）」の模式図		三和土による型枠の作成		現地での適応イメージ	
出典					
<p>環境省気候変動適応プラットフォーム https://adaptation-platform.nies.go.jp/db/measures/report_141.html ミツカン水の文化センター機関誌『水の文化』69号 Z世代の水意識 https://www.mizu.gr.jp/kikanshi/no69/04.html 青森県立名久井農業高等学校 環境研究班 「日本伝統の土壌固化技術「三和土」を使った機能性集水システムによる土壌流出の抑制と食糧増産」 https://steam-japan.com/wp/wp-content/themes/steam-japan/file_award/img/result/award_bronze_2.pdf</p>					

適応策オプション追記集 No. 3

記入者	安原一哉	記入日時	R4. 11. 13	「個票」との対応ページ	41
適応策オプション名	資源循環型生産モデルによる持続可能な農業の構築				
適応策オプションの詳細					

農作物から低資源利用発酵技術でアミノ酸を取り出した後に残る栄養豊富な副生物（コプロ）を肥料や飼料として地域内で99%有効利用する低資源利用発酵技術で、資源を循環（バイオサイクル）し自然資本を回復・増強することができる。農産物の品質改善と農地の収益性の向上を可能とし、さらに、化学肥料（窒素分）利用の削減、製造部門のCO₂排出量削減、また生産過程の廃棄物縮減を実現している。

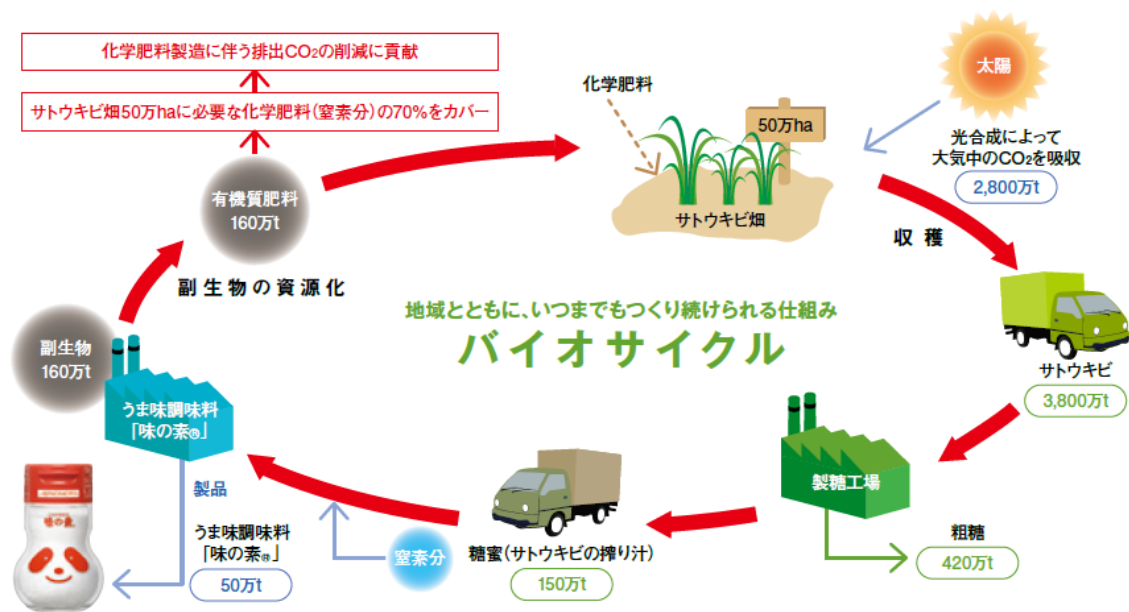


図1 バイオサイクルの概要

出典

経済産業省「日本企業による途上国における適応グッドプラクティス事例集」2022年2月
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/adaptation_goodpractice_FY2020JPN.pdf
 味の素(株)味の素株式会社 <https://www.ajinomoto.com/>

適応策オプション追記集 No. 4

記入者	小浪岳治	記入日時	2022. 12. 11	「個票」との対応ページ	72
-----	------	------	--------------	-------------	----

適応策オプション名	路網整備の推進(林業)
-----------	-------------

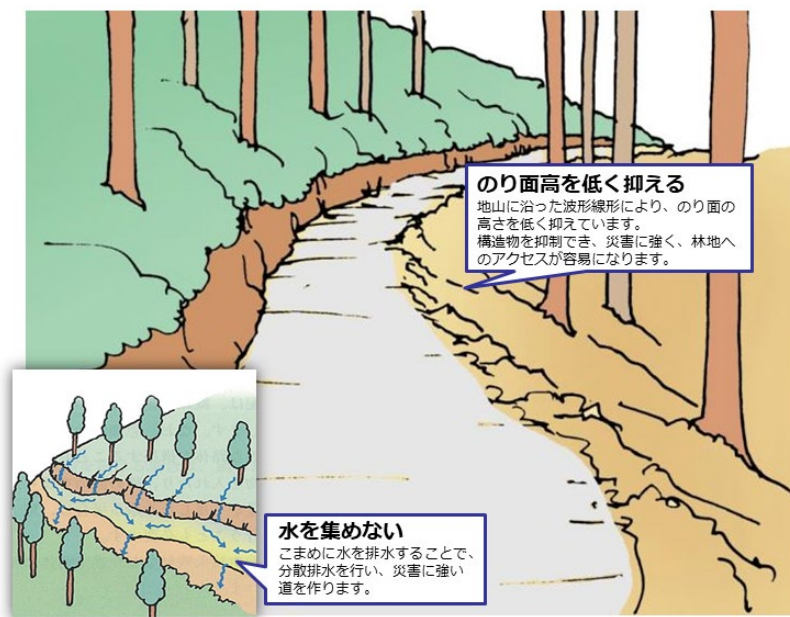
適応策オプションの詳細

林野庁は、林業の成長産業化と森林の適切な管理の両立を目指し、令和7年度の国産材供給量4,000万立方メートルの達成に向けて、路網整備の推進に取り組んでいる。

森林の整備・保全を適切に実施するとともに、林業の生産性向上を図るためには、路網と高性能林業機械等を組み合わせた効率的な作業システムの構築が不可欠である。

降雨の多い日本において、丈夫な道づくりを行うため、地山に沿うように波形線形で計画し、雨水が集中して路面を流れないようにすることが必要である。

盛土は地山に段切りを行い、層ごとにしっかりと転圧を行うことで強く固めるとともに切土や盛土法面は高さを極力低く抑え、災害に強く森林へのアクセス機能を向上させることを目指している。



出典

路網整備の推進（林野庁）

<https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/romousuisin.html>

適応策オプション追記集 No. 5

記入者	小浪岳治	記入日時	2022. 12. 11	「個票」との対応ページ	80
-----	------	------	--------------	-------------	----

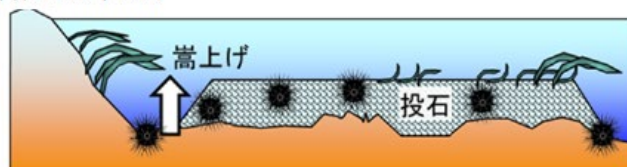
適応策オプション名	気候変動に対応した漁場整備方策に関するガイドライン(水産業)				
-----------	--------------------------------	--	--	--	--

適応策オプションの詳細

「気候変動に対応した漁場整備方策に関するガイドライン（水産庁）：令和4年6月改訂」は、造成漁場において気候変動に対応した漁場整備方策に関する具体的な適応計画を整理してとりまとめられたものである。

ガイドラインの中で、「海水温上昇に伴うウニ類の増加に対応した嵩上げタイプの囲い礁の整備」が事例として報告されている。

調査施設：平成24年度神恵内地区（神恵内大森漁場）
調査年度：平成25年6月



嵩上礁上


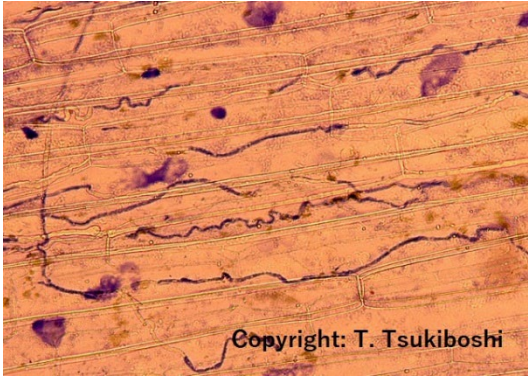


施設外→嵩上礁

出典

気候変動に対応した漁場整備方策に関するガイドライン（水産庁）
https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_gideline/attach/pdf/index-63.pdf

適応策オプション追記集 No. 6

記入者	小浪岳治	記入日時	2022. 12. 11	「個票」との対応ページ	68
適応策オプション名	飼料作物病害図鑑(畜産業)				
適応策オプションの詳細					
<p>農研機構では、日本で発生する飼料作物病害について長年にわたって調査・研究を行ってきた。その成果を活用できるよう、各病害の病徴や病原菌の写真を中心に「飼料作物病害図鑑」にまとめた。宿主植物名、病原菌名、病徴から検索ができ、それぞれの病害について解説と写真が入っている。</p>					
 <p>Copyright: K. Sugawara (Japan)</p>		 <p>Copyright: T. Tsukiboshi</p>			
トウモロコシ苗立枯病 (病徴)		ライグラス葉身中のエンドファイト (菌糸)			
出典					
<p>飼料作物病害図鑑 (農研機構) https://www.naro.affrc.go.jp/org/nilgs/diseases/dtitle.html</p>					

適応策オプション追記集 No.7

記入者	安原一哉	記入日時	2022. 11. 19	「個票」との対応ページ	143
適応策オプション名	水資源の減少と水害による水質汚染の両方に対応するシステム				
適応策オプションの詳細					

災害による汚染水の浄化に、砂や砂利を利用する「緩速ろ過式」を採用した技術である。ポンプで汲み上げた表流水を、砂や砂利を敷き詰めた「ろ過槽」に通して泥やゴミを除去し、槽内に自然発生する藻類による光合成で、水中の溶存酸素濃度を増加させ、微生物による水処理を活発にさせる。これによって水資源の確保に資する。この方法は凝集剤やフィルター交換が不要なため、運用及びメンテナンスに高度な技術やコストが必要なく、地域住民による自主運営・管理が可能などの特徴を有している。

また、これによって、①水質の浄化によって下痢や発熱などの病気の減少に貢献するとともに、②住民が水を販売する課金ビジネスや、太陽光パネルが併設されている無電化地域においては携帯電話の充電ビジネス等の新規ビジネスを創出し、地域に職を生み出すことを促すことにより、コベネフィットの創出を可能とする。

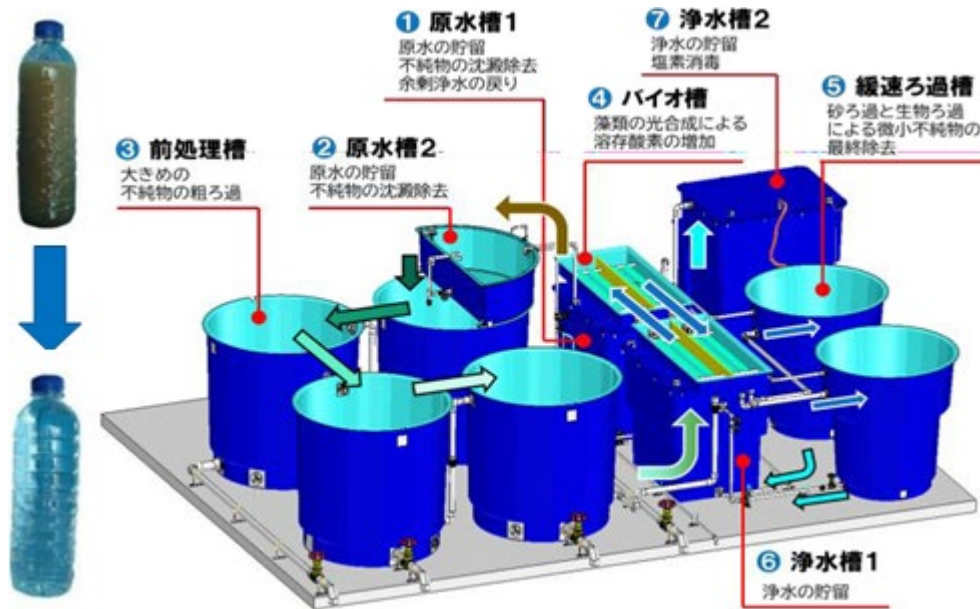


図1 浄水と貯水のシステム

出典

経済産業省「日本企業による途上国における適応グッドプラクティス事例集」2022年2月, 38
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/adaptation_goodpractice_FY2020JPN.pdf
 ヤマハ発動機株式会社 <https://global.yamaha-motor.com/>

適応策オプション追記集 No. 8

記入者	安原一哉	記入日時	22. 11. 19	「個票」との対応ページ	121
適応策オプション名	分散型給水システムの導入による安全な飲料水の確保				

適応策オプションの詳細

ここで提案されている分散型給水システムは、塩水化傾向にある河川水の浄化を目指したものであり、図1に示すように、導入する施設ごとに水処理と給水を行う小～中規模の専用水道であり、集中型浄水場の給水配管網に比べて配水に必要なエネルギーが少ないことから、安価な飲料水を提供できる。

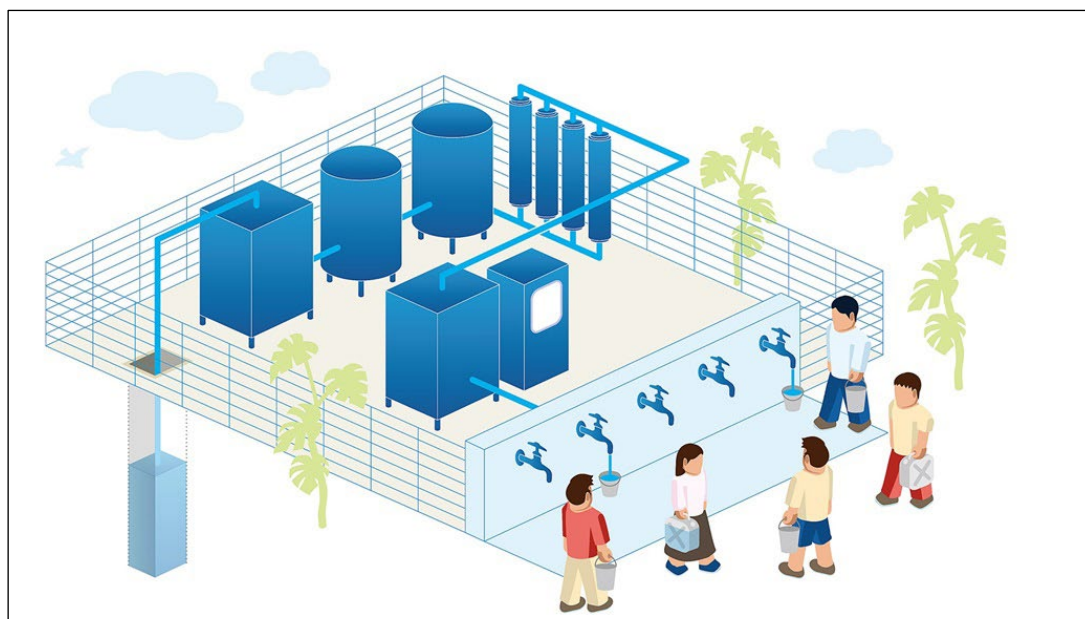


図1 分散型給水システムのイメージ

このシステムは、本来、開発途上国の農村部・遠隔地などの日常における安全で安定した水供給するという、公共水道を補完することを目指したものであるが、災害時にも通常通りの水供給を確保するとともに、導入顧客の事業運営を維持することが出来ることから、我が国においても普及が可能であると考えられる。

出典

環境省 APLAT（事業者の適応）

三菱ケミカルアクア・ソリューションズ(株) <https://www.mcgc.com/sustainability/mcc/activities/case3.html>

適応策オプション追記集 No. 9

記入者	安原一哉	記入日時	22. 11. 19	「個票」との対応ページ	120
適応策オプション名	オゾンを利用した水質浄化システム				

適応策オプションの詳細

オゾンを用いた浄化装置で発生したオゾンにより、難分解性 COD（化学的酸素要求量：Chemical Oxygen Demand）を易分解性 COD に分解し、さらに反応したオゾンは酸素となる。高濃度の酸素を含んだ処理水を貧酸素状態の湖沼に戻すことにより、湖沼は好気化され自然浄化能力が回復し易分解性 COD は湖沼内の微生物が浄化する。また富栄養物質を含んだアオコは浮上分離してスカムとして回収することが出来る。



図 1 湖におけるアオコ除去による水質改善事例

自然生態系を維持するという立場からも複眼的で有用な技術と考えられる。

出典

環境省 APLAT（事業者の適応）

日揮(株) https://adaptation-platform.nies.go.jp/private_sector/opportunities/biz-037.html

適応策オプション追記集 No.10

記入者	安原一哉	記入日時	2022. 11. 19	「個票」との対応ページ	159
適応策オプション名	サンゴ礁維持のための保険				
適応策オプションの詳細					
<p>民間資本と公的資源を組み合わせることで、災害に対して脆弱な地域の政府や自治体が、生態系と経済の双方に重要なサンゴ礁などの天然資源を保全するための計画立案をより意識的に行うことができる。</p> <p>この保険では、<u>投資家</u>は、環境問題に関するプロジェクトが遅延または未完成等となった場合においても投資金とその利益を保護することが可能となる。<u>企業</u>は、観光業などの天然資源に基づく活動から得られる収益を保護しつつ、自然災害又は人災により事業が中断された場合においてもその対応コストを軽減される。また、<u>政府機関</u>は、観光に関する収益減と災害後の復旧等に係るコストに対して保険をかけておくことで、被害が生じた場合においても自然環境の浄化や再生のための当面の資金を得ることができるという特徴がある。</p>					
	従来の保険			パラメトリック保険	
保険支払の発動要件	物理的資産の損失または損傷			事前に合意した閾値（パラメーター）を超える事象の発生	
補償額	実際の損失の払い戻し			閾値に基づく事前に合意された支払い	
ベースリスク*	約定条件、免責事項			選択した閾値や支払構造と実際のリスクへの暴露との相関	
損害調査と支払所要期間	数か月から数年。損害の複雑さにより異なる			30日以内の非常に透明性の高い支払い	
契約期間	通常単年度契約、複数年は難しい			単年度または複数年（最大3年）	
構造	標準化された約款			柔軟性が高いカスタマイズ型の製品（シングルトリガー、マルチトリガー）	
形態	保険契約			保険契約	
*自己負担損害。顧客が受け取った保険金と実際の損失が等しくないというリスク。					
出典					
環境省 APLAT（事業者の適応） スイス再保険会社日本支店 https://www.swissre.com/japan/news-insights/articles/natural-catastrophes/insuring-our-environment-the-dependency-between-nature-and-economic-activity-.html					

図1 従来の保険とパラメトリック保険の比較

適応オプション追記集 No. 11

記入者	安原一哉	記入日時	2022. 11. 19	通し番号	160
適応オプション名	気候変動の影響を受けるいきもの調査による生物多様性の把握				

適応オプションの詳細

AI を利用した独自のアプリによって、地球温暖化の影響で分布（住む場所）が変化している可能性のある生物を記録し、地球温暖化の影響を明らかにしていくとともに、国民に地球温暖化対策アクションを呼びかけるものである。



図1 参加方法



図2 調査結果の例

提案するアプリの利用によって、世界中の生物種の分布データの収集、その利用の最適化により、温暖化による生態系の変化予測や外来種の侵入状況の把握など、これまで人類が抱えてきた多くの課題を解決できる可能性がある。

出典（省庁・機関名）

A-PLAT (株)バイオーム https://www.wantedly.com/companies/company_9487580

記入者	浅田寛喜	記入日時	2022. 12. 23	「個票」との対応ページ	155
-----	------	------	--------------	-------------	-----

適応策オプション名	高山生態系のモニタリング調査
-----------	----------------

適応策オプションの詳細

環境省生物多様性センターでは、日本列島の多様な生態系について、全国にわたって 1000 ヶ所程度のモニタリングサイトを設置し、大学や地域の NPO、ボランティア等と協力し、基礎的な環境情報の収集を継続して実施している。

高山生態系については、全国的な地域性や地域環境のバランスを考慮して、「大雪山」、「白山」、「北アルプス」、「南アルプス」、「富士山」の 5 箇所を調査サイトとして選定。

調査項目としては、気候変動による高山生態系への様々な影響を検出できるように、以下の項目を選定。

- ・気温 ・地温・地表面温度 ・植生 ・ハイマツ年枝伸長量
- ・開花時期 ・チョウ類 ・地表徘徊性甲虫 ・マルハナバチ類

高山生態系の調査は、2009 年から継続して実施し、10 年以上の調査データが蓄積。

こうしたデータが蓄積・公開されることで、保全区域の効率的な維持管理や対策等の立案が図れる。

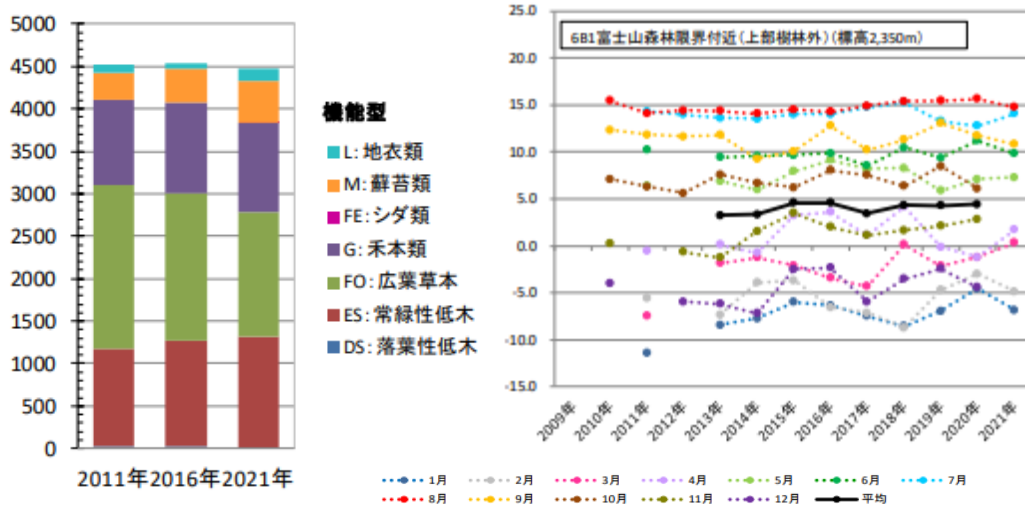


図 1 植生の出現種割合の経年変化

図 2 月平均気温と年平均気温の経年変化

出典

環境省気候変動適応プラットフォーム

https://adaptation-platform.nies.go.jp/db/measures/report_091.html

環境省自然環境局生物多様性センター「モニタリングサイト 1000 高山帯調査—重要生態系監視地域モニタリング推進事業—2008～2012 年度とりまとめ報告書」

http://www.biodic.go.jp/moni1000/findings/reports/pdf/h20-h24_alpin_zone.pdf

2021 年度モニタリングサイト 1000 高山帯調査報告書

https://www.biodic.go.jp/moni1000/findings/reports/pdf/2021_alpin_zone.pdf

記入者	足立雅樹	記入日時	2022. 10. 31	「個票」との対応ページ	247
適応策オプション名	氾濫を防ぐための対策-ハザードへの対応- -しみ込ませる対策（流域治水）-				
適応策オプションの詳細					

(個票の概要)

近年の水災害による甚大な被害を受けて、気候変動により施設能力を超過する洪水が発生することを前提に、流域の全員（国・都道府県・市町村・企業・住民等）が協働して流域全体で行う治水対策である「流域治水」への転換が進められている。

洪水時に河川水を速やかに地盤に浸透させる浸透施設の整備を行う。

(追記の概要)

1. 流域治水の経過

- ・令和2年7月：「総力戦で挑む防災・減災プロジェクト」のとりまとめ
- ・令和3年3月：流域治水プロジェクトとして、国、流域自治体、企業等からなる流域治水協議会にて議論を進め、全国一級水系(109)、二級水系(12)で策定・公表



図-1 流域治水のイメージ

2. 雨水貯留施設等の整備

大雨時の市街地の浸水被害軽減のため、雨水を一時的に貯留し、時間をかけて地中や河川に流す公園緑地空間を整備する。

仙台市では、令和元年東日本台風によって甚大な被害が発生したことを踏まえて、名取川水系において流域治水プロジェクトの一環で、氾濫を防ぐための対策として公園貯留施設の整備を行っている。

下記は、仙台市で行っている公園貯留施設整備「雨庭（あめにわ）」のイメージです。

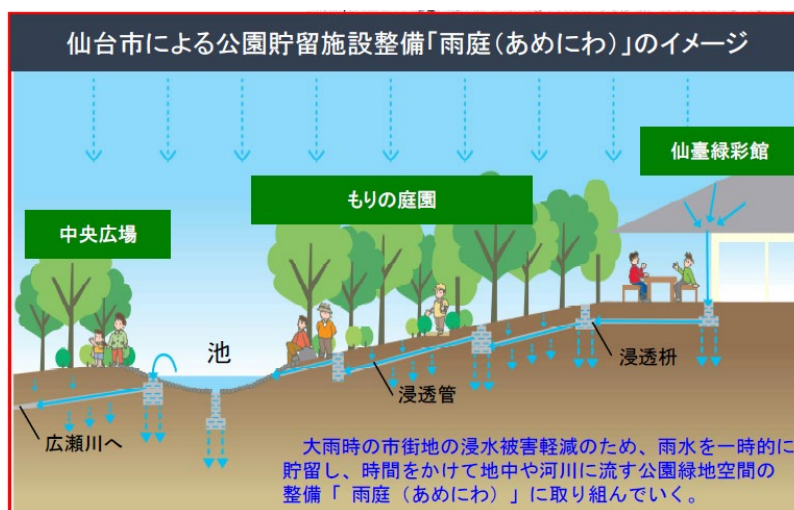


図-2 仙台市による公園貯留施設整備「雨庭（あめにわ）」のイメージ

出典

- ・【令和4年度】総力戦で挑む防災・減災プロジェクト
(<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/img/project2022.pdf>)
- ・名取川水系流域治水プロジェクト
(https://www.mlit.go.jp/river/kasen/ryuiki_pro/pdf/82/82-1.pdf)
- ・国土交通省 水管理・国土保全 流域治水プロジェクト
(https://www.mlit.go.jp/river/kasen/ryuiki_pro/index.html)
- ・流域治水プロジェクト（国土交通省）について
(<https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/5197066.pdf>)

適応策オプション追記集 No.14

記入者	安原一哉	記入日時	2022. 11. 19	「個票」との対応ページ	218
適応策オプション名	ネットワークカメラを活用した自然災害への事前対応システム				
適応策オプションの詳細					

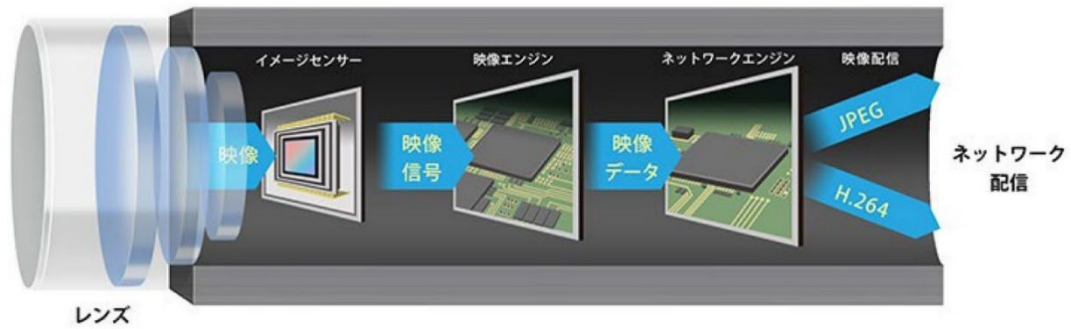


図1 モニタリング用カメラ



図2 監視カメラと水センサーによる河川のリアルタイム監視システム

出典

環境省 APLAT (事業者の適応)
 キヤノンマーケティングジャパン(株)

記入者	浅田寛喜	記入日時	2022. 12. 23	「個票」との対応ページ	173
適応策オプション名	江戸川区における大規模水害時の自主的広域避難の推奨				
適応策オプションの詳細					

江戸川区では、大規模水害時には、浸水が想定されない区外への広域避難(分散避難)を推奨している。広域避難先としては、区外の親戚・知人宅、公的な広域避難先の他、区外の宿泊施設も考えられる。広域避難を促進するために、経済的対策、社会的対策を取り組んでいる。

【経済的対策】

- ・「江戸川区大規模水害時自主的広域避難補助金」を創設
- ・広域避難先として区外の宿泊施設を選択した場合に、宿泊に係る経費を補助
- ・1人最大9,000円(1泊3,000円、3泊まで)とする補助金の申請が可能



図 広域避難に伴う補助金交付の流れ

図 ホテル選択のポイント

【社会的対策】

- ・旅行会社やホテル・旅館団体と「大規模水害時における住民の自主的広域避難場所の確保支援に関する基本協定」を締結
- ・区のホームページに、宿泊先情報のリンク先の他、ホテルを選択する際のポイント等を掲載

出典

環境省気候変動適応プラットフォーム
https://adaptation-platform.nies.go.jp/db/measures/report_168.html
 江戸川区ウェブサイト 「大規模水害時の自主的広域避難(分散避難)について」(2021年8月18日更新)
https://www.city.edogawa.tokyo.jp/e007/bosai/zen/bosai/ji_jo/kouiki_hinan.html
 江戸川区ウェブサイト 「風水害時の避難の考え方について」(2021年8月18日)
https://www.city.edogawa.tokyo.jp/e007/bosai/zen/bosai/ji_jo/reiwa2nenndosugai_hinan.html

記入者	浅田寛喜	記入日時	2023. 01. 05	「個票」との対応ページ	285
適応策オプション名	激甚化・頻発化する豪雨災害に伴う橋脚の沈下・傾斜の常時監視				

適応策オプションの詳細

河川内にある橋脚基礎部の洗掘状況を遠隔から監視する技術で、現地に行かずにリアルタイムでデータ計測や健全度の確認を可能とし、洪水時の橋梁における通行可否の判断、異常発生時のアラート発出（メール通知）、洗掘対策の効果確認等を実現している。

【特徴】

- ・ 現地では計測機器を設置するのみだけで計測可能
- ・ 計測機器の電源は、太陽光パネルを使用（商用電源は不要）
- ・ 洗掘による変化を検知する精度に応じて導入コストを低減可能
- ・ アラート発出の管理値は任意に設定可能

【効果】

- ・ 常時監視により洗掘状況の把握を迅速化
- ・ 洪水時に近接する必要がないので安全
- ・ 異常をメール通知することで、災害時の初動対応をサポート

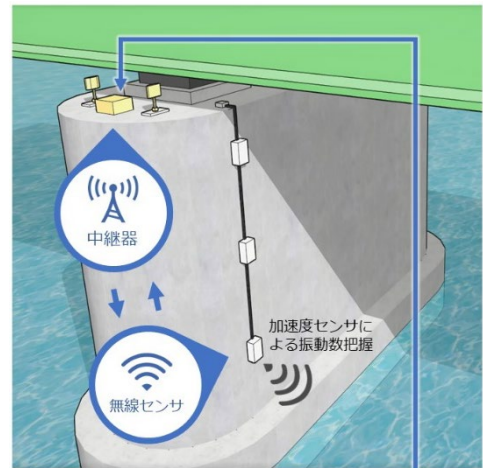


図1 洗掘モニタリングシステム



図2 振動数(洗掘量)の計測例

出典

国土交通省「点検支援技術性能カタログ、令和4年9月」

<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/zenbun.html>

国立研究開発法人土木研究所「土木構造物のためのモニタリングシステム活用ガイドライン(案)、令和2年12月」

https://thesis.pwri.go.jp/files/doken_shiryou_4408_00.pdf

記入者	浅田寛喜	記入日時	2023. 01. 05	「個票」との対応ページ	286
適応策オプション名	内水氾濫監視システムおよび近未来A I 水位予測				
適応策オプションの詳細					
<p>1. 技術開発の背景及び契機</p> <p>近年頻発する局地的豪雨により、特に都市内河川の氾濫、宅地や道路の冠水が問題となっております。また、河川管理者も、限られた人員のなかで豪雨時の災害対応を実行していくには、河川の水位状況等のリアルタイム情報を多点にて収集すると共に、観測された水位が今後上昇するのかを予測することが求められております。近年のIoT技術の進展により、低コストの「内水氾濫監視および近未来A I 水位予測システム」の実装を実現しております。</p> <p>2. 技術の内容</p> <p>内水氾濫監視システムは、局地的豪雨による低平地の宅地や道路などの湛水被害が起こった際、インターネット経由で、PC やスマートフォン等から現地状況を確認することができます。このシステムで得られる水位情報とレーダ雨量計の降雨情報等から、近未来（2 時間先まで）の水位をA I 予測し周知することで、氾濫危険範囲における住民避難のリードタイム確保等に役立ってます。</p> <p>3. 技術の効果</p> <p>安価なシステムであることの利点を生かし、水位監視が必要な箇所の多点に設置することで、広域的な水位監視が可能となります。近未来A I 水位予測により、氾濫危険範囲における住民避難のリードタイムを確保することが期待されます。さらに、カメラ画像と組み合わせることで、遠隔にて河川状況を的確に捉えることが可能となります。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>【状況の把握】</p> <p>見える化</p>  <ul style="list-style-type: none"> IoTセンサ 防災情報 </div> <div style="text-align: center;"> <p>【近未来予測】</p> <p>分析予測</p>  <ul style="list-style-type: none"> AI水位予測 氾濫計算 </div> <div style="text-align: center;"> <p>【避難誘導支援】</p> <p>対処復旧</p>  <ul style="list-style-type: none"> パーソナル通知 復旧支援 </div> </div> <p>4. 技術の適用範囲</p> <p>都市内河川、内水氾濫の発生が懸念される地域</p>					
出典					
<p>株式会社福山コンサルタント HP</p> <p>https://www.fukuyamaconsul.co.jp/tec/tec02_image/tec02_kanshi.pdf</p> <p>危機管理型水位計に関するポータルサイト（一般社団法人 河川情報センター）</p> <p>http://www.river.or.jp/fukuyama-consultant.pdf</p>					

記入者	安原一哉	記入日時	2022. 10. 26	「個票」との対応ページ	344
適応策オプション名	感染症対策総合的ベクター管理技術				
適応策オプションの詳細					

長期残効性防虫蚊帳，新規作用性残留散布剤，空間噴霧剤，長期残効性幼虫防除剤を組み合わせ、マラリアやデング熱などの感染症を低減させるための総合的ベクター管理（媒介害虫駆除）技術である。



図1 総合的ベクター管理システムの概要

本技術は以下のような特徴を有している。

- 1) 公的機関と連携：WHO等の国際機関や途上国政府の推薦に基づき、世界基金、国連児童基金などの国際機関を通じて80か国以上の国々に提供されている。
- 2) 現地生産可能：海外企業との連携により、消費者に近い場所での生産を目指す。タンザニア企業との合弁会社にて現地生産を実現し、アジアの生産拠点と合わせ、需要に対応できる生産体制を維持継続することによる雇用創出など、現地の経済発展に貢献。

出典

経済産業省「適応グッドプラクティス事例集」（2022年2月）
住友化学株式会社 <https://www.sumitomo-chem.co.jp/>

適応策オプション追記集 No. 19

記入者	安原一哉	記入日時	2022. 11. 30	「個票」との対応ページ	333
-----	------	------	--------------	-------------	-----

適応策オプション名	熱中症等の危険性を知らせる機能を搭載した警報システム
-----------	----------------------------

適応策オプションの詳細

熱中症と乾燥を知らせる機能を搭載した家庭用都市ガス警報器、LP ガス警報器、一酸化炭素検知機能付きの住宅用火災警報システムで、夏は温度と湿度から「暑さ指数」を算出し、熱中症の危険のある状態になるとランプと音声で、また、冬は季節性インフルエンザの流行に関与する絶対湿度と温度を監視し、ウイルスが生存しやすい乾燥した環境になると知らせる仕組みとなっている。



図1 快適ウォッチ SMART XW-735

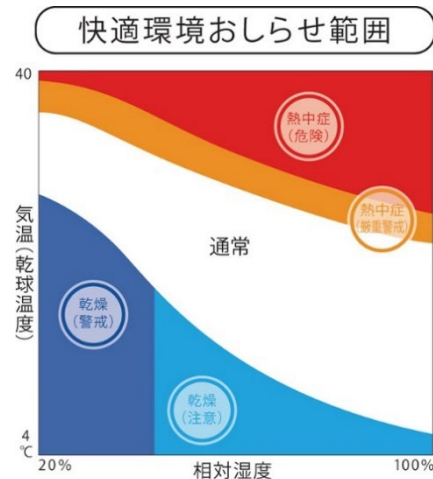


図2 快適環境おしらせ範囲

ここで紹介されている警報器は、従来のガス漏れや一酸化炭素、火災をお知らせする機能に加え、熱中症等の危険性を知らせる新たな機能を搭載していることから、市民の日常生活の役に立ち、身近に感じてもらえる存在となる。IoTを活用することで家庭用ガス警報器の可能性は大きく広がっており、生活環境をより快適にするサービスを提供するための中心的なハードウェアへと進化させ、さらなる安全・安心・快適な暮らしに寄与していくことが期待される。

出典

環境省 APLAT (事業者の適応)
 新コスモス電機株式会社 <https://www.new-cosmos.co.jp/>

適応オプション追記集 No.20

記入者	浅田寛喜	記入日時	2022. 1. 16	「個票」との対応ページ	317
適応オプション名	児童・生徒を守る LoRaWAN™を活用した「熱中症対策」トライアル				

適応オプションの詳細

吹田市とNTT西日本は、「ICT を活用したシティプロモーション推進に関する連携協定」に基づき、計測センサーを用いた暑さ指数の実測・見える化を実施している。

計測箇所：中学校運動場、体育館の2箇所

計測項目：温度、湿度、輻射熱

【各関係団体の役割】

●吹田市

- ・実証フィールドの提供
- ・今後の熱中症対策への運用における基礎データの収集

●NTT西日本

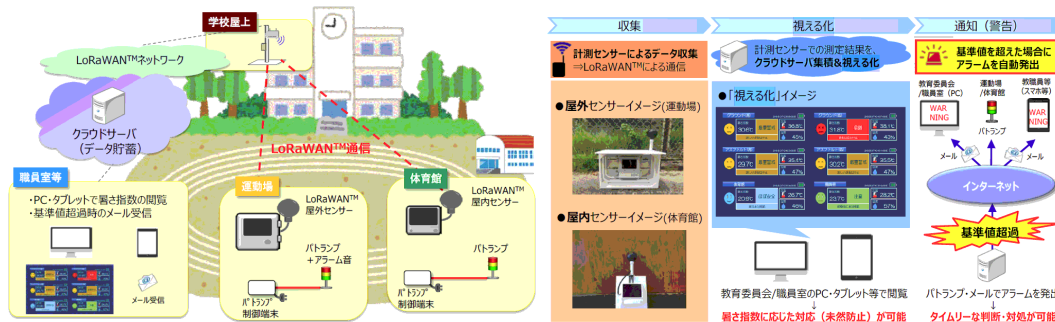
- ・トライアル全体の運営、実行管理
- ・熱中症対策の運用における効果検証（見える化、注意喚起、未然防止等）

●株式会社NTTフィールドテクノ

- ・LoRaWAN™ネットワーク機器・計測センサー機器の設置
- ・計測センサー設置方法のノウハウ蓄積

●株式会社フジクラ

- ・LoRaWAN™用計測センサー機器の開発・提供・技術サポート
- ・見える化アプリケーションの提供



出典（省庁名：環境省）

環境省気候変動適応プラットフォーム

https://adaptation-platform.nies.go.jp/db/measures/report_098.html

NTT 西日本報道発表資料「児童・生徒を守る LoRaWAN™を活用した「熱中症対策」トライアルについて」2019年7月30日

<https://www.ntt-west.co.jp/news/1907/190730a.html>

NTT ネオメイト公式ホームページ「LPWA、LoRaWAN®とは？」

適応策オプション追記集 No.21

記入者	安原一哉	記入日時	2022. 10. 26	「個票」との対応ページ	375
-----	------	------	--------------	-------------	-----

適応オプション名	ハイブリッド再生可能エネルギー発電制御システム				
----------	-------------------------	--	--	--	--

適応オプションの詳細

自律的に一定時間・一定量の電力安定供給を行う再生可能エネルギー発電と蓄電技術を遠隔制御するエネルギー管理システム（EMS）である。これによると、発電量や気象データを蓄積し、O&M（運用・保守）の手法の確立に繋がる。ここでは、蓄電システムとして、鉛蓄電池を採用している。この鉛蓄電池は、コストが安い反面、リチウムイオン蓄電池と比べて寿命が半分以下と短い。蓄電池の充放電を制御することにより寿命を2倍以上に延ばすことが可能な鉛蓄電池制御システムの創出につながっている。この技術の適用によると様々な気象条件に耐えうる電力システムを構築できる。災害に脆弱な離島や島嶼諸国に有効な適応策である。

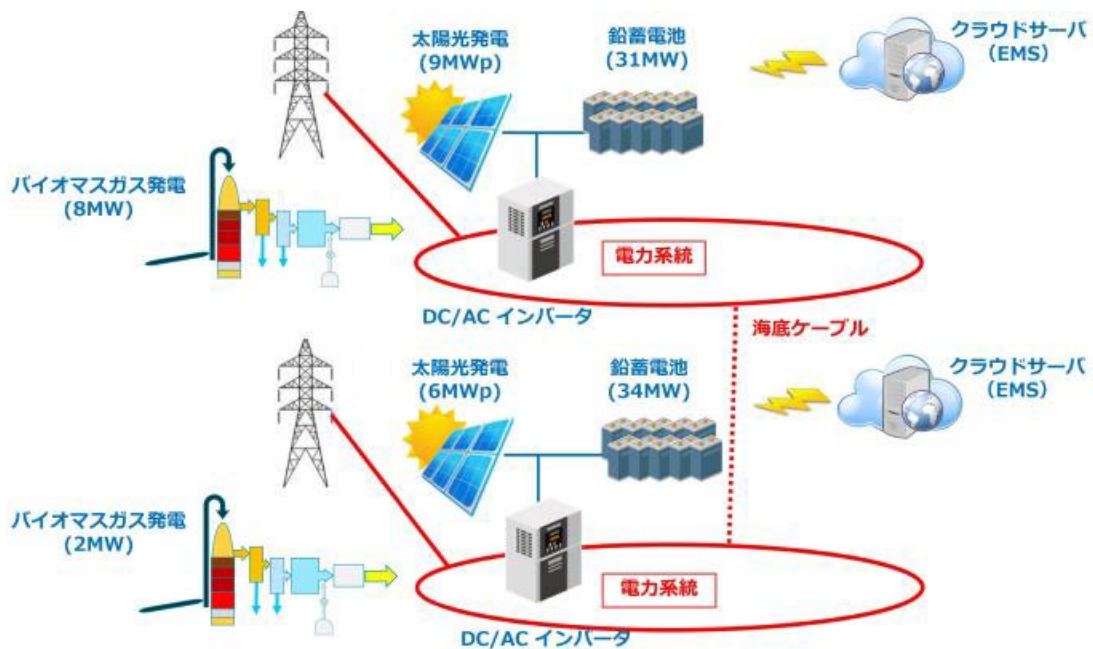


図1 複数の離島を結ぶエネルギー管理システム（EMS）

出典（省庁名：通商産業省）

経済産業省「適応グッドプラクティス事例集」（2022年2月）

株式会社九電工 <http://www.kyudenko.co.jp/>

適応策オプション追記集 No.22

記入者	安原一哉	記入日時	2022. 12. 04	「個票」との対応ページ	405
適応オプション名	「屋根散水システム」による暑熱対策				

適応オプションの詳細

スプリンクラーで屋根に撒いた水が蒸発する際に、屋根の表面から熱を奪うこと（気化熱）を利用して、屋根温度の上昇を防ぐ「屋根散水システム」である。屋根温度の上昇が抑制されると、屋根から室内へ伝わる輻射熱が減り、室内の温度上昇も抑制される。図1に示すように、スプリンクラー、コントローラー、付帯機器から構成されている。

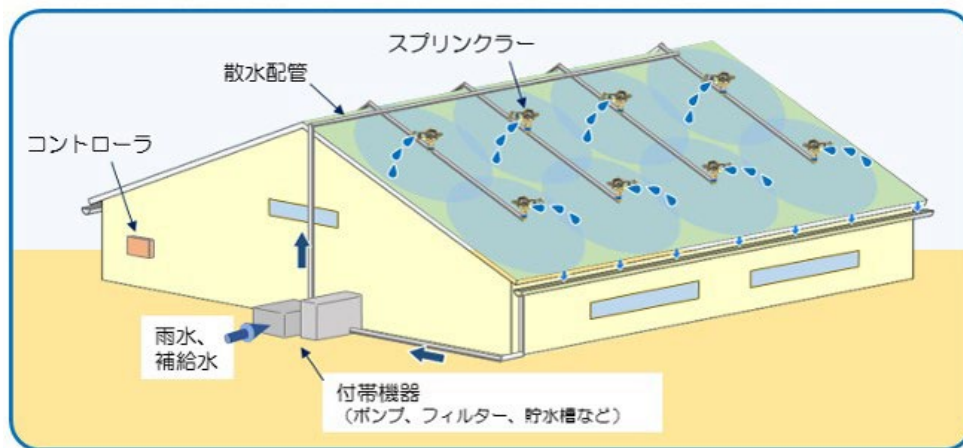


図1 「屋根散水システム」のしくみ

遮熱塗料、遮光シートとの冷却性能の比較も実施した。その結果、屋根散水は遮熱塗料、遮光シートよりも5℃～7℃ほど屋根温度を低く抑えられている（図2）。

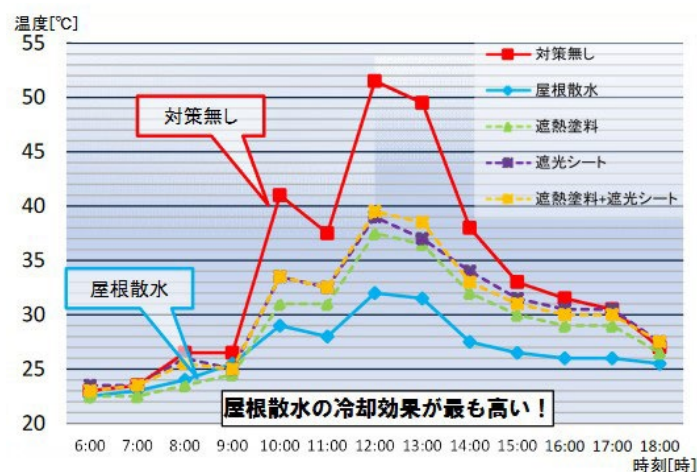


図-2 屋根面への暑熱対策方法別冷却効果比較

出典（省庁・機関名：環境省）

環境省 APLAT（事業者の適応） (株)イーエス・ウォーターネット

適応策オプション追記集 No. 23

記入者	安原一哉	記入日時	2022. 12. 04	「個票」との対応ページ	413
適応策オプション名	災害時に便利な軽量でポータブルな配線不要のモバイルバッテリー				
適応策オプションの詳細					

充放電器をセパレート型にすることで小型で軽量（重さは約 3kgf）と手軽に持ち運ぶことが可能なバッテリーである（図 1 参照）。これまでのポータブル電源では電池残量がなくなればコンセントのある場所まで電源装置ごと持ち運び充電する必要があるが、本バッテリーは他のバッテリーを充電しておくことで交換しながら継続して電気を供給できる。充放電器との組み合わせで平時から災害時まで様々なシーンに合わせた最適な使い方が可能である。



図 1 ポータブルモバイルバッテリー

本バッテリーは、USB 出力端子を搭載し、スマートフォン約 25 台分の充電も可能となっている（図 2）。

停電時



初期満充電時、停電時に使用できる機器の動作時間については、各製品カタログ値を元に計算したものであり、動作を保証するものではありません。バッテリー容量は304Whですが、接続機器の力率、機器内自己消費電力等を加味しています。ノートパソコン、卓上照明、モニターは専用充放電器とセットで使用した場合。

図 2 停電時に使える時間の目安

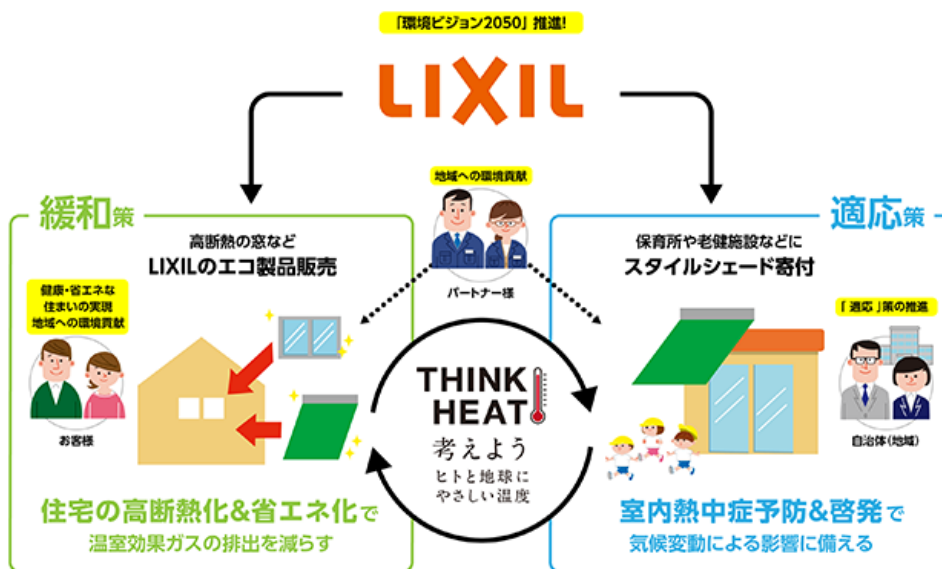
環境省 APLAT（事業者の適応）パナソニック(株)

<https://panasonic.jp/battery/contents/safety.html>

記入者	安原一哉	記入日時	2022. 12. 04	「個票」との対応ページ	415
適応策オプション名	室内熱中症から子どもたちを守る外付け日よけ				

適応策オプションの詳細

室内熱中症から子どもたちを守るために、顧客が購入した地球温暖化の緩和につながる断熱窓・ドアなどの対象商品の売り上げの一部によって、地域の保育所・幼稚園に外付け日よけシェードを寄付する。適応と緩和の両方に資する技術システムである。



事業活動を通じた「緩和」と「適応」の持続可能な活動モデルを実施

図1 「窓から ECO シェアプロジェクト」のめざす姿



図2 外付け日よけシェードを設置した住宅

出典

環境省 APLAT（事業者の適応）(株) LIXIL

<https://www.lixil.co.jp/minnadesmileecopj/thinkheat/cooldepeace/>

適応オプション追記集 No.25

記入者	浅田寛喜	記入日時	2022. 1. 16	「個票」との対応ページ	402
適応オプション名	電力需要変動への対応				

適応オプションの詳細

静岡県は、民間企業と協力して、県独自の電力需給調整システム「ふじのくにバーチャルパワープラント（VPP）」の構築を推進している。

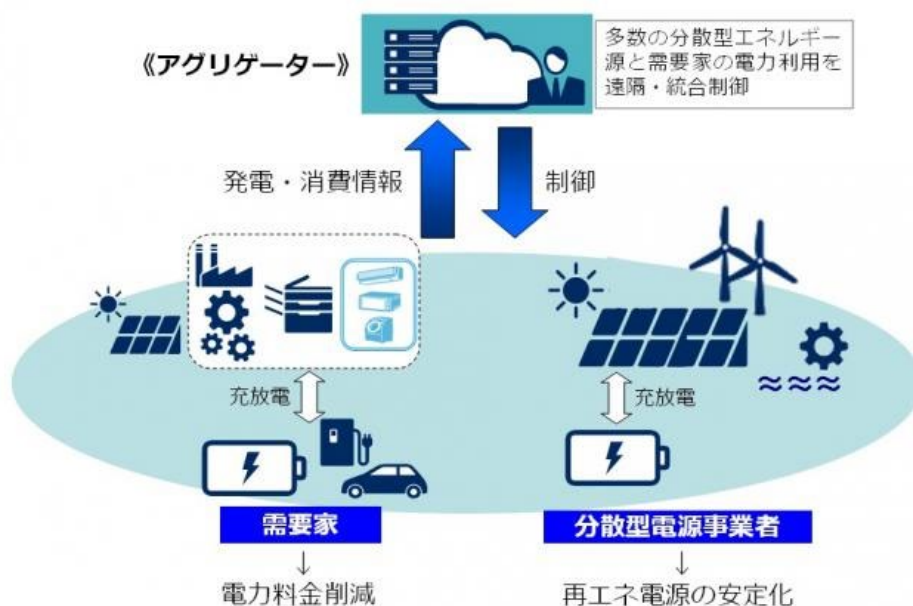
「ふじのくにバーチャルパワープラント（VPP）」は、IoTを活用して再生可能エネルギーの安定供給を図ることを目的としている。

【取り組み内容】

- ・「ふじのくに VPP 構築協議会」の設置
- ・エネ発電事業者、需要家、機器メーカー、工事業者、市町等を対象とした「ふじのくに VPP 構築セミナー」の随時開催

ふじのくにバーチャルパワープラント

IoT技術を活用し再生可能エネルギーを安定電源として活用する新たな電力需給システム



出典（省庁名：環境省）

環境省気候変動適応プラットフォーム

https://adaptation-platform.nies.go.jp/db/measures/report_074.html

静岡県公式ホームページ「ふじのくにバーチャルパワープラントについて」

<http://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-150/vpp/about.html>

適応策オプション追記集 No.26

記入者	岸田隆夫	記入日時	2022. 12. 5	「個票」との対応ページ	431
適応策オプション名	ムーンショット型研究開発制度の推進				

適応策オプションの詳細

(個票の概要) 超高齢化社会や地球温暖化問題など重要な社会課題に対し、人々を魅了する野心的な目標(ムーンショット目標)を国が設定し、挑戦的な研究開発を推進する国の大型研究プログラム・地球温暖化、海洋プラスチック、資源の枯渇、環境保全と食料生産の両立・Society 5.0実現のための計算需要増大、人類の活動領域拡大

(追記の概要)

1. ムーンショット目標(人々を魅了する野心的な目標)の概要

(1) ムーンショット型研究開発制度とは ●超高齢化社会や地球温暖化問題など重要な社会課題に対し、挑戦的な研究開発を推進する国の大型研究プログラム。●全ての目標は「人々の幸福(Human Well-being)」の実現を目指す。

(2) 具体的な9つの目標が「総合科学技術・イノベーション会議/健康・医療戦略推進本部」で2020.1.23~2021.9.28に決定 ①社会:急進的イノベーションで少子高齢化時代を切り拓く[課題:少子高齢化、労働人口減少等]。②環境:地球環境を回復させながら都市文明を発展させる。[課題:地球温暖化、海洋プラスチック、資源枯渇、環境保全と食料生産の両立等](目標4、5、8が該当)。③経済:サイエンスとテクノロジーでフロンティアを開拓する。[Society 5.0実現のための計算需要増大、人類の活動領域拡大等]。(ムーンショット目標の内、環境関係目標を次に示す。)

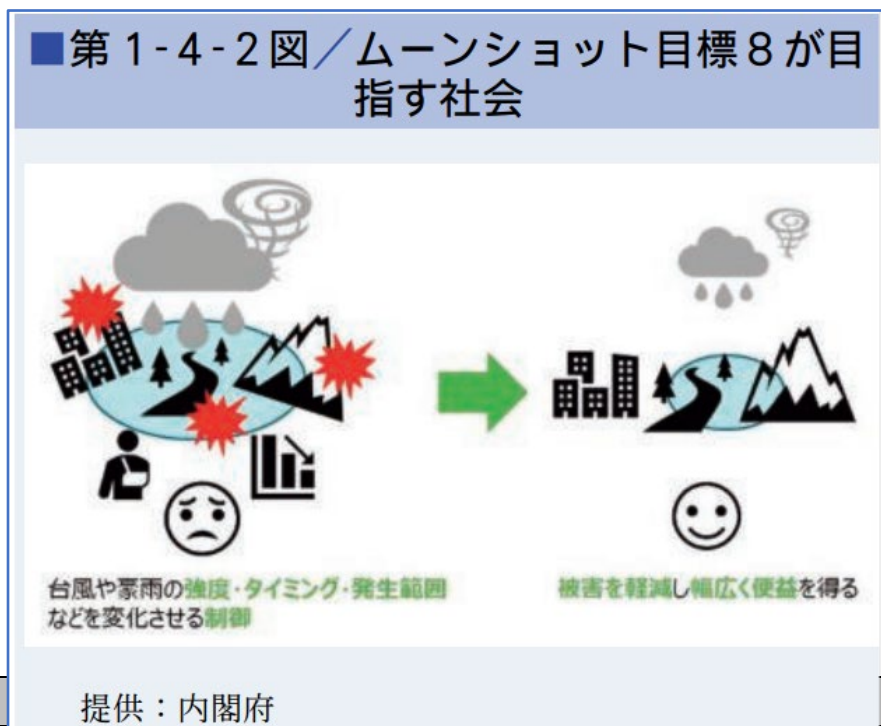


2. 目標達成の方法と組織

目標を俯瞰して統括するPD(プログラムディレクター)を設置し、その下に各研究開発プロジェクトに国内外トップの研究者が取り組むポートフォリオ(プロジェクトの構成(組合せ)や資源配分等の方針をまとめたマネジメント計画)を構築する。各プロジェクトには、ステージゲートを設けて柔軟にポートフォリオの見直しを行い、将来における社会実装を見据えた派生的な研究成果のスピナウトを積極的に奨励する。研究開発の評価視点として、「産業界との連携・橋渡しの状況」が含まれ、社会実装に向けた民間資金の獲得等も目指している。

3. 2021年に決定した目標8:「2050年までに、激甚かきつつある台風や豪雨を制御し極点風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現」の事例

地球温暖化の進行等により、台風や豪雨などによる極端な風水害が激甚化し、全世界での気象災害等は過去50年間で5倍に増加しており、1970-2019年の死者は200万人超と推定されている。小規模な人工降雨などはこれまでもあったが、台風や豪雨などの災害につながるような大きなエネルギーを持つ気象の制御についての研究開発は進んでいなかった。本目標では、2050年までに激甚化しつつある台風や豪雨の強度・タイミング・発生範囲などを変化させる制御によって、極端風水害による被害を大幅に軽減し、我が国及び国際社会に幅広く便益を得ることを目指している（第1-4-2図）。



https://www.mext.go.jp/content/20220608-mxt_kouhou02-000023228_5.pdf (文部科学省)

「我が国の研究力 ～科学技術立国の実現～ 第4章イノベーション創出に向けた『和』の社会実装」
(2022/12/05)

適応策オプション追記集 No.27

記入者	岸田隆夫	記入日時	2022. 12. 07	「個票」との対応ページ	435
適応策オプション名	スーパーコンピュータ等を活用した気候変動の予測技術等の高度化				
適応策オプションの詳細					
<p>(個票の概要) ●「統合的気候モデル高度化研究プログラム」において、地球シミュレータ等のスーパーコンピュータを活用し、気候モデル等の開発を通じて気候変動の予測技術等を高度化 ●成果を活用した「日本の気候変動 2020」を公表 ●「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」の第5次評価報告書で世界での最大活用</p> <p>(追記の概要)</p> <p>1. プロジェクトの実施状況</p> <p>文部科学省は、同プログラムで、地球シミュレータ等のスーパーコンピュータを活用し、気候モデル等の開発を通じて気候変動の予測技術等を高度化することによって、気候変動対策に必要となる基盤的情報を創出するための研究開発を実施している。この成果を活用し、2020年12月に最新の気候変動予測等の科学的知見をとりまとめた「日本の気候変動 2020」(文部科学省・気象庁)を公表した。</p> <p>2. 具体的な実施内容</p> <ul style="list-style-type: none"> ・気象庁気象研究所は、エアロゾルが雲に与える効果、オゾンの変化や炭素循環なども表現できる温暖化予測地球システムモデルを構築し、気候変動に関する10年程度の近未来予測及びIPCCの排出シナリオに基づく長期予測を行っている。また、我が国特有の局地的な現象を表現できる分解能を持った精(せい)緻(ち)な雲解像地域気候モデルを開発して、領域温暖化予測を行っている。 ・海洋研究開発機構は、大型計算機システムを駆使した最先端の予測モデルやシミュレーション技術の開発により、地球規模の環境変動が我が国に及ぼす影響を把握するとともに、気候変動問題の解決に海洋分野から貢献している。 <p>3. 「日本の気候変動 2020」21世紀末の日本の気候はどうなる？</p> <p>近年、気温の上昇や大雨の頻度増加等、気候変動による様々な影響が各地域で進行してきており、今後更に深刻化していくことが予測されている。また、新型コロナウイルス感染症の拡大により、各国で都市封鎖や外出制限等が行われ、人々の日常生活は一変し、社会経済活動は大きく抑制されたが、このような状況下にあっても、大気中の二酸化炭素濃度や、世界の平均気温の上昇傾向は引き続き続いており、気候変動対策は待ったなしの状況である。</p> <p>このような状況において、2020年12月に、文部科学省及び気象庁は、文部科学省における気候変動研究に関する成果や気象庁における気候変動の観測・予測などの最新の科学的知見を総合的に取りまとめ、国や地方公共団体、事業者、あるいは国民が、気候変動緩和・適応策や気候変動影響評価に必要となる基盤情報(エビデンス)として「日本の気候変動 2020」を公表した。</p> <p>この報告書では、日本の気候変動について、気候変動の原因となっている大気中の温室効果ガス濃度や日本の気候(気温、降水、海面水位、海水温など)のこれまでの変化と、21世紀末の予測について</p>					

てまとめている。特に、21世紀末の予測については、パリ協定の2℃目標が達成された場合（2℃上昇シナリオ）及び現時点を超える追加的な緩和策を取らなかった場合（4℃上昇シナリオ）にあり得る将来予測としてまとめている。

将来予測まとめ



21世紀末の日本は、20世紀末と比べ...

年平均気温が約**1.4℃**/約**4.5℃**上昇



猛暑日や熱帯夜はますます増加し、冬日は減少する。

海面水温が約**1.14℃**/約**3.58℃**上昇



温まりやすい陸地に近いことや暖流の影響で、予測される上昇量は世界平均よりも大きい。

降雪・積雪は減少



雪ではなく雨が降る。ただし大雪のリスクが低下するとは限らない。



激しい雨が増える

日降水量の年最大値は
約12%（約15 mm）/約27%（約33 mm）増加
50 mm/h以上の雨の頻度は 約1.6倍/約2.3倍に増加



**沿岸の海面水位が
約0.39 m/約0.71 m上昇**

**3月のオホーツク海海面面積は
約28%/約70%減少**



【参考】4℃上昇シナリオ（RCP8.5）では、21世紀半ばには夏季に北極海の海水がほとんど融解すると予測されている。



**強い台風の割合が増加
台風に伴う雨と風は強まる**



**日本南方や沖縄周辺においても
世界平均と同程度の速度で
海洋酸性化が進行**

※ この資料において「将来予測」は、特段の説明がない限り、日本全国について、21世紀末時点の予測を20世紀末又は現在と比較したものを示す。

「日本の気候変動 2020 -大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書-」の概要

資料:文部科学省、気象庁作成「日本の気候変動 2020」概要版 P13

出典

- https://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa202101/detail/1421221_00010.html
 (文部科学省)「令和3年版科学技術・イノベーション白書 第3章 経済・社会的課題への対応、第3節 地球規模課題への対応と世界の発展への貢献 ①地球規模の気候変動への対応」
 (2022/12/07)
- https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/mext_00405.html (文部科学省・気象庁)「日本の気候変動 2020 -大陸と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書-」(2022/12/07)

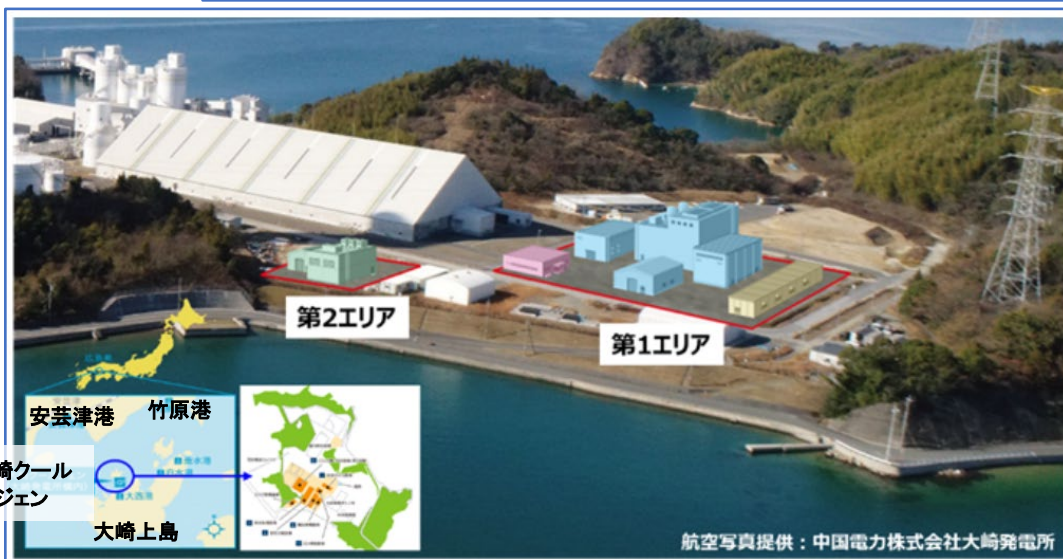
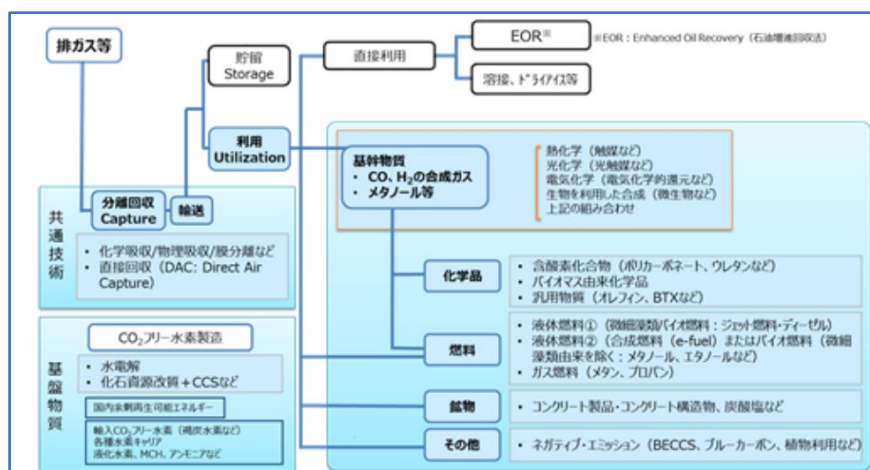
適応策オプション追記集 No.28

記入者	岸田隆夫	記入日時	2022.12.5	「個票」との対応ページ	437
適応策オプション名	気候変動への対応技術の開発と経済・社会活動への波及				
適応策オプションの詳細					
<p>(個票の概要) ●「統合イノベーション戦略 2020」(2020)では、環境エネルギーを取り上げ、革新的技術の確立、及び社会実装を図って、「革新的環境イノベーション戦略」を確実に実行し、2050年カーボンニュートラルの実現に向け取組</p> <p>●文部科学省は、「統合的気候モデル高度化研究プログラム」で、気候変動予測情報等を創出し、「地域適応コンソーシアム」を通じて、研究開発成果を地方公共団体等に提供 ●農林水産省は、2020年度から、温暖化適応技術としてバイオ炭やブルーカーボン、木質バイオマスの利用による炭素吸収源対策技術の開発に取組</p> <p>(追記の概要)</p> <p>1. 「統合的気候モデル高度化研究プログラム」</p> <p>文部科学省は、本プログラムで、気候変動適応策の立案・推進を支援するため、ニーズを踏まえた気候変動予測情報等を創出し、DIASに加えて環境省等の関係省庁と連携して取組む「地域時王コンソーシアム」を通じて、研究開発成果を地方公共団体等に提供している。また、気候変動を含む地球環境研究の世界規模のイニシアティブである「フューチャー・アース構想」など、国内外のステークホルダーとの協働による研究を推進している。さらに、地域の脱炭素化を加速し、その地域モデルを世界に展開するための大学等のネットワーク構築に取組んだ。</p> <p>2. 関係省庁間で連携状況</p> <p>上記概要に示した文部科学省・農林水産省に加えて、他省庁の次の活動と連携している。</p> <p>(1)環境省は、環境研究総合推進費における戦略的研究課題の一つとして、我が国の気候変動適応を支援する影響予測・適応評価に関する最新の科学的情報の創出を目的とする「気候変動影響予測・適応評価の総合的研究(S-18)」を実施。気候変動及びその影響の観測・監視並びに予測・評価及びその対策に関する研究を環境研究総合推進費等により総合的に推進。</p> <p>(2)気象庁気象研究所は、局地的大雨をもたらす極端気象現象を、二重偏波レーダやフェーズドアレイレーダー、GPS等を用いてリアルタイムで検知する観測・監視技術の開発に取組んでいる。また、局地的大雨を再現可能な高解像度の数値予報モデルの開発など、局地的な現象による被害軽減に寄与する気象情報の精度向上を目的とし研究を推進。</p> <p>3. カーボンリサイクル技術</p> <p>気候変動問題に対しては経済と環境の好循環を達成する取組を促進することが重要である。大気や色々な排出源から二酸化炭素を回収し、これを有効利用するCCUの中で、特に二酸化炭素を“資源”と捉え、これを分離・回収し、鉱物化によりコンクリート、人工光合成等により化学品、メタネーション等により燃料へ再利用し、大気中の二酸化炭素を削減する、または、新たな二酸化炭素排出を抑制する技術が「カーボンリサイクル」である。二酸化炭素の利用先としては、①化学品、②燃料、③鉱物、④その他が想定されている。</p> <p>カーボンリサイクルはカーボンニュートラルな社会の実現のためのキーテクノロジーであり日本</p>					

に競争力がある技術である。既に二酸化炭素を原料としたコンクリートやポリカーボネートは実用化に成功し、二酸化炭素を原料として製造されたプラスチック容器を化粧品ボトルとして使用する商品もある。

一方で、カーボンリサイクル技術の多くは低コスト化が課題であり、特に、二酸化炭素フリー水素はまだ高価なため、水素を使用した技術にはイノベーションが必要である。そこで、短期的には、二酸化炭素のコンクリート化や藻類によるバイオ燃料化などの水素を必要としない技術や、機能性化学品や健康食品、医薬品等の高付加価値品への利用をターゲットとした上で長期的には、カーボンリサイクルメタンや合成燃料など既存の汎用品を代替する利用が期待されている。現在、産学官が連携し、実用化に向けたイノベーションを積極的に推進している。

カーボンリサイクル
技術ロードマップ
資料: 経済産業省
資源エネルギー庁



カーボンリサイクル実証研究拠点(イメージ図) 資料: 第2回カーボンリサイクル産学官国際会議 2020HP

出典

https://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa202101/detail/1421221_00010.html (文部科学省)「令和3年版科学技術・イノベーション白書 第3章 経済・社会的課題への対応、第3節 地球規模課題への対応と世界の発展への貢献—第4節 国家戦略上重要なフロンティア」(2022/12/05)

適応策オプション追記集 No.29

記入者	岸田隆夫	記入日時	2022. 12. 7	「個票」との対応ページ	440
適応策オプション名	気候変動及び SDGs とパリ協定の枠組みにおけるデジタル技術の評価				
適応策オプションの詳細					

(個票の概要) ICT 及び人工知能、5G などのデジタル技術の持続可能性への影響及び導入による緩和への貢献についての評価方法とガイダンスを議論する。また、気候変動と生物多様性に焦点をあてる。

(追記の概要)

1. 情勢変化

(1)技術覇権争いの更なる先鋭化 ●米中の技術競争の激化、●サプライチェーン確保など経済安全保障への対応

(2)気候変動問題への対応の具体的な取組みの進展 ●気候変動などのグローバル・アジェンダが現実の危機として認識、●各国・地域で気候変動問題への対策を最重要課題として位置付け〔(日本) 2050年カーボンニュートラルの実現、2030 年度の新目標 (2013 年度比▲46%を目指し、▲50%の高みに向け挑戦を継続)〕

2. 「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」での『半導体・情報通信分野の具体的な今後の取組み』

(1)デジタル化によるエネルギー需要の効率化・省 CO₂化 (グリーン by デジタル)

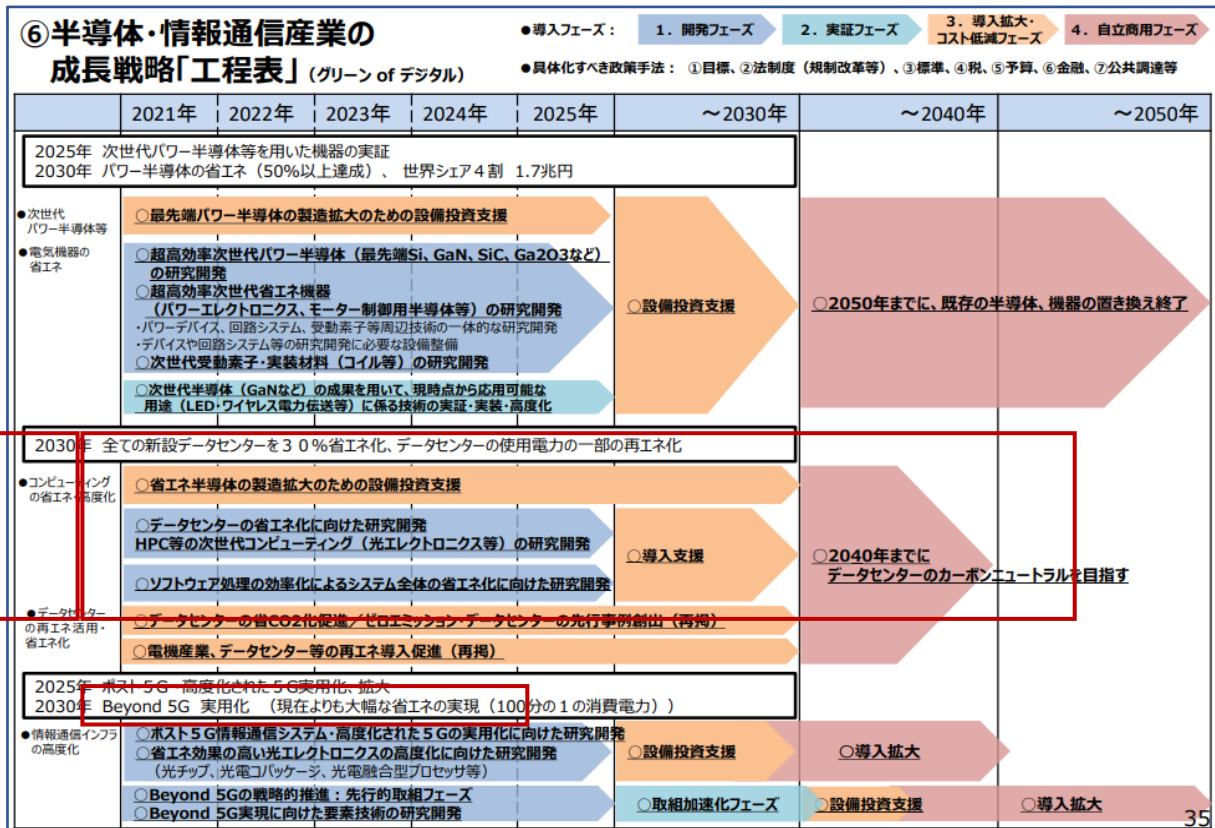
- ・ DX 推進として、社会生活のオンライン化を実現できるような次世代ソフトウェアの研究開発や、デジタル技術活用による地域の省 CO₂ 化推進のための実証などを支援。
- ・ データセンターのゼロエミッション化・レジリエンス強化のモデル創出や再エネなど脱炭素電源の導入を促進するための実証・補助事業・制度支援等を実施。

2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン戦略 (2020.12) p.34



(2) デジタル機器・産業の省エネ・グリーン化 (グリーン of デジタル)

- ・従来の Si パワー半導体の高性能化に加えて、超高効率の次世代パワー半導体の実用化に向けて、アカデミアが保有する半導体関連技術・施設等も活用し、研究開発を支援。
- ・データセンターの省エネ化に向けて、サーバーを構成する要素デバイスの高性能化・省エネ化技術に、光エレクトロニクス技術を融合したシステムの開発・実証や、データセンターを制御するソフトウェアによる性能・消費電力の最適化技術を開発。



2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン戦略(2020.12) p.35

出典(省庁名: ●●)

- 1) https://www.soumu.go.jp/main_content/000809338.pdf (総務省) 『『国際電気通信連合電気通信標準化部門の活動への対処について』のうち『電気通信標準化諮問委員会への対処』について 一部答申』(2022/09/02)
- 2) <http://www3.keizaireport.com/report.php/RID/508583/> (総務省情報流通行政局) 「国内外における最新の情報通信技術の研究開発及び デジタル活用の動向に関する調査研究の請負成果報告書」(2022/09/02)
- 3) <https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/seichosenryakukaigi/dai6/siryou1.pdf> (経済産業省成長戦略会議) 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 資料1」(2022/12/07)

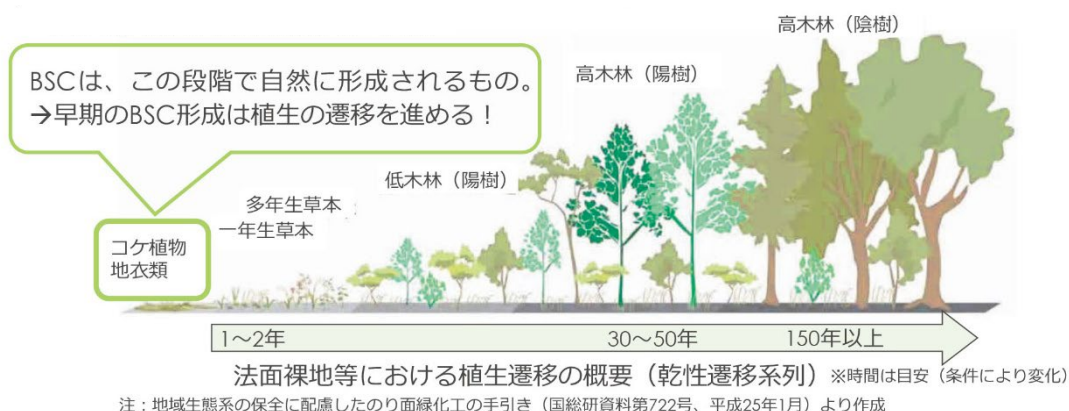
適応オプション追記集 No. 30

記入者	安原一哉	記入日時	2022. 11. 13	「個票」との対応ページ	272
適応オプション名	土壌藻類を活用した表面侵食防止工法				

適応オプションの詳細

降雨強度の増加などに伴う土壌流亡や斜面の崩壊に対し、日本国内はもとより北極から南極まで世界中に広く分布する土壌藻類を資材化し散布することで、侵食を防止し、周辺植生の侵入を促進するものである。この方法は、以下のような特徴を有している。

- 1) 植生遷移の初期段階には、バイオロジカル・ソイル・クラスト（Biological Soil Crust/BSC：土壌表面が藻類やコケ等で覆われた状態）が形成され、それにより環境を改善することによって、草などが生え、追って木が生えてくる状況が見られる。この現象を活用し、土壌藻類を散布し優占させることで、自然状態では長期間かかるBSCの形成を2週間から1か月という短期間で行える。
- 2) この藻類は日本国内はもとより北極から南極まで世界中に広く分布しており、また雌雄がなくクローン増殖で増えることから、雑種の形成や遺伝子攪乱等のリスクがない。一般的に用いられる種子吹付工は外来種の種子を含むことが多く自然公園等では活用できないが、本製品であれば問題なく適用可能である。
- 3) 既存の吹付機器等を用いて崩壊地やのり面等の地表面に散布するのみで施工可能であり、法面成型やラス張り工も必要なく、手軽である。



出典（関係組織名：経済産業省）

経済産業省「日本企業による途上国における適応グッドプラクティス事例集」2022年2月
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/adaptation_goodpractice_FY2020JPN.pdf
 日本工営株式会社 <https://www.n-koei.co.jp/>

適応策オプション追記集 No.31

記入者	安原一哉	記入日時	2022. 11. 05	「個票」との対応ページ	—
-----	------	------	--------------	-------------	---

適応オプション名	ロス&ダメージへの貢献を目指す災害早期警戒システム
----------	---------------------------

適応策オプションの詳細

以下の2つのハードウェアとソフトウェアを融合させて、途上国から要請の強い災害における「ロス&ダメージ（損失と損害）」低減を支援しようとする警報システムである。

◆早期警戒システム: ㈱ウエザーニュースが開発したゲリラ豪雨時の雨粒の大きさや雲の移動方向を立体的にはぼリアルタイムで観測できる高頻度観測小型気象レーダーによる早期警戒のための災害情報伝達システム（図-1 参照）。

◆天候デリバティブ: 異常気象等をリスクヘッジするために東京海上日動火災保険㈱が提案している天候デリバティブであり、その内容は、契約時に所定のプレミアム（契約料）を支払い、測定された対象指標（気温、降水量、降雪量などの気象に関する指標）が契約時に約定した条件に合致する場合に、一定の決済金が支払われる。

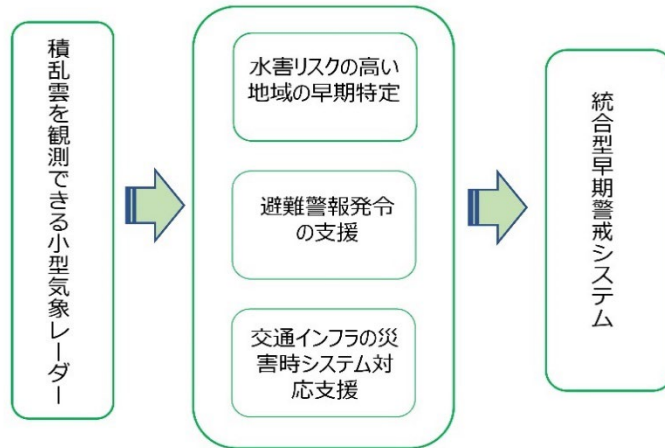


図-1 早期警戒システム（読売新聞，令和4年11月23日朝刊から作成）

表-1 途上国支援プラン（読売新聞，令和4年11月5日朝刊から作成）

提案されている個別の適応策	適応策の内容
高頻度観測小型気象レーダーによる早期警戒システム	積乱雲の発達状況を監視し、豪雨や土砂災害のリスクを住民に
天候デリバティブ	天候不順や異常気象が原因で収益が減少した場合、その一部を

上記を途上国で展開し、災害に強い経済の構築を支援しようとするものである。本提案は、COP 27（2022，エジプト）で日本から提案されている（表-1）。

出典

(株)ウエザーニュース https://adaptation-platform.nies.go.jp/private_sector/database/opportunities/report_113.html
 東京海上日動火災保険(株)https://adaptation-platform.nies.go.jp/private_sector/database/opportunities/report_006.html

適応策オプション追記集 No.32

記入者	安原一哉	記入日時	2022 10. 23	「個票」との対応ページ	212
-----	------	------	-------------	-------------	-----

適応策オプション名	耐水害住宅
-----------	-------

適応策オプションの詳細

住宅が水害被害に遭う危険ポイントを「浸水」（水が入る隙間をなくす）、「逆流」（自動で排水管を閉じる）、「水没」（ライフラインを確保する）、「浮力」（流されない）の4つに分類し、それぞれに対する対策を施した耐水性住宅である。特に、浮力対策では、①建物が浮上する水位に達する前に床下から水を引き込み、その重量によって浮力に対抗するタイプと②家自体を浮かせて守る機能を有する2つのタイプに分けている。

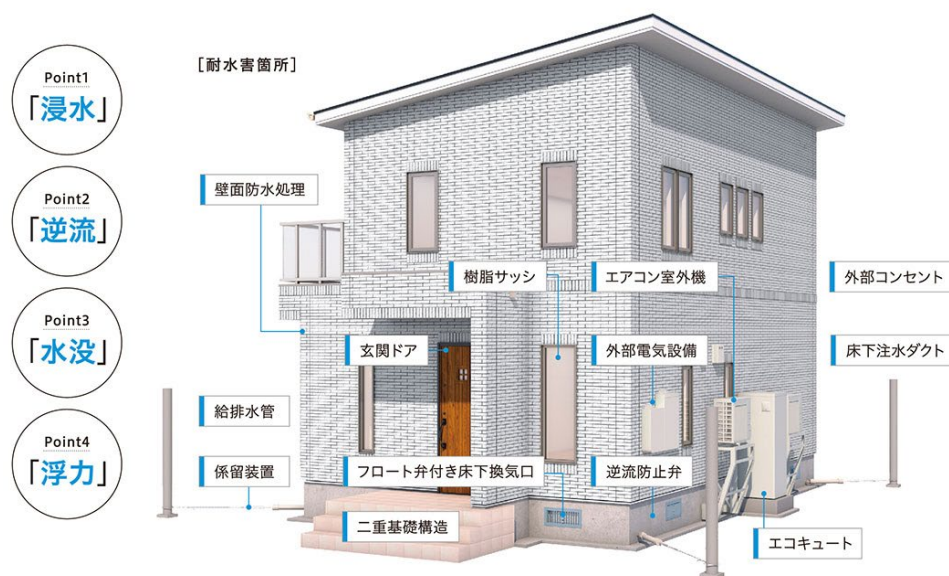


図1 住宅における耐水害箇所と4つの危険

約 3,000 トンの水を使って豪雨・洪水被害を再現する実大実験によると、一般的な住宅は、床下換気口や玄関ドア、窓の隙間から次々と浸水していったが、「耐水害住宅」では、床下、室内ともに被害を受けないことがわかっている。

出典

環境省 APLAT（事業者の適応） https://adaptation-platform.nies.go.jp/private_sector/database/opportunities/report_086.html
（株）一条工務店 <https://www.ichijo.co.jp/lp/taisuihai/>

適応策オプション追記集 No.33

記入者	安原一哉	記入日時	—	「個票」との対応ページ	277
-----	------	------	---	-------------	-----

適応オプション名 水害の低減と水不足の解消の両方に資する雨水貯留システム

適応策オプションの詳細

雨水を地下の貯水槽に貯め、再利用または流出抑制するプラスチック材によって豪雨時に下水や河川に流れ込む雨水の量を制御し、雨水の再利用を可能にする雨水貯留システムで、以下のような特徴を有している。

- 1) 短工期、低コストで施工可能。
- 2) 再生プラスチックを使用するため、製品のライフサイクルでのCO2排出量低減に貢献。
- 3) 耐荷重設計により、設置後の地面を駐車場等に利用可能。地盤沈下抑制効果も発揮。
- 4) 高い空隙率で、地下に水の空間を生み出し、雨水の流出抑制と有効利用に貢献。ゲリラ豪雨対策として、敷地に降った雨を一時貯留して徐々に排水することにより、氾濫を防ぐ。貯めた雨水は、公園散水やトイレ洗浄水等に使用可能。



図1 雨水貯留システム

出典

経済産業省「日本企業による途上国における適応グッドプラクティス事例集」2022年2月, 33
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/adaptation_goodpractice_FY2020JPN.pdf
 積水化学工業株式会社<https://www.sekisui.co.jp/>

記入者	安原一哉	記入日時	2022. 11. 12	「個票」との対応ページ	283
適応オプション名	緩和と適応の両方に資する排出資源利用技術				
適応策オプションの詳細					

ここで言う“排出資源”とは、流通のタイミングや社会情勢などにより、たまたま引き取り手が無く廃棄物となってしまった産業副産物を指している¹⁾。例えば、廃棄タイヤ、石炭灰、鉄鋼スラグ、あるいは、廃コンクリートなどである。

これらの排出資源のうち、温暖化効果ガスを吸着できる産業副産物を利用して地盤構造物と関連するインフラ施設の気候変動に対するレジリエンス強化と環境負荷低減の両方に資するものである。

具体的な例を図1に示している。技術の概要は以下のとおりである。

- ① コンクリート廃材に CO₂ を吸着させてこれを擁壁の裏込めや構造物基礎に適用してインフラのレジリエンスを高める²⁾
- ② 鉄鋼スラグに CO₂ を吸着させ、廃棄物処分施設の即日覆土に利用することによって廃棄物中から排出される³⁾

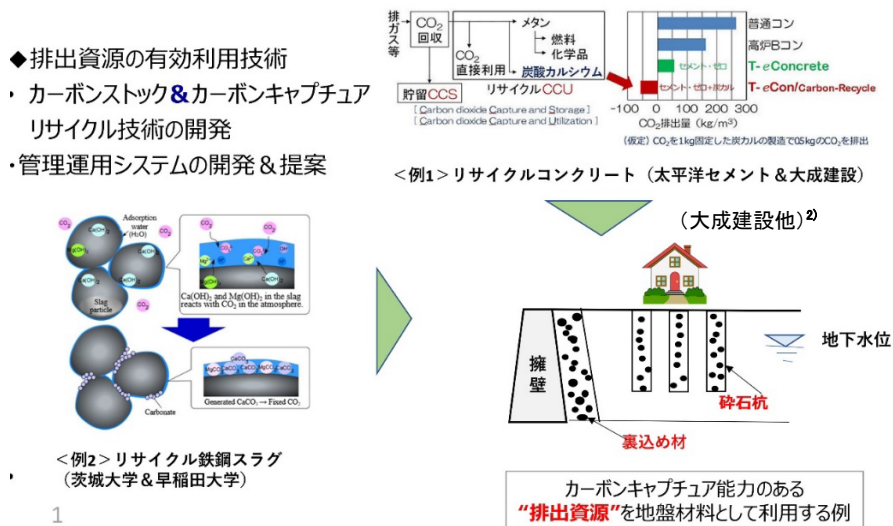


図1 排出資源を利用したインフラ強靱化事例³⁾

副産物に CO₂ 固定を利用することできることから、低コストな CO₂ 削減技術である。インフラの災害に対する強靱化に資することが出来ることから、典型的なシナジー効果を発揮できる技術である。

出典

- 1) 小峯秀雄:持続可能な都市環境創造に向けた環境地盤工学の役割と展望,土と基礎(地盤工学会誌), 33-9, pp. 1-5, 2006.
- 2) https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210112_5022.html
- 3) 海野円・小峯秀雄・村上哲・瀬戸井健一:温室効果ガス削減のための廃棄物による二酸化炭素固定化特性の調査および利用方法の提案, 第9回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp. 287-290, 2011.