

# 持続可能な未来のためのインフラストラクチャー

セロバ(SEROVA)

リディア・スロボディアン

ロレナ・マルティネス・ヘルナンデス

翻訳：インターン 古明地綾音・深見太一・宮宇地梨音・荘禮陽

## 前書き

今後 20 年間、今まで以上に新たなインフラの需要が高まるだろう。途上国においては、経済成長をし、都市化や産業化を行っていくためには、最新のインフラが必要となる。一方先進国においては、インフラの老朽化に対処していく必要がある。これから先 2040 年までに行われるインフラ投資は、現在ある世界中のインフラよりも価値があると言われている。

インフラは長期的に高額の投資が必要であるが、一度建設されたインフラは作り替えることが難しく、借金は何世代にもわたり返済しなくてはならない。建設されると数十年そこに存在するインフラは、その後の開発を難しくしている。

気候変動は、インフラに大きな影響を及ぼす。現在使っているエネルギーの利用をやめ、現在ある輸送インフラは寿命になる前に更新を行わない限り、パリ協定の目標を達成することはできないだろう。気候変動に対して、現存のインフラや現在の政策や安全基準のままでは太刀打ちすることができない。気候変動に対応できるインフラをつくるためには、現存のインフラを大きく強化する必要がある。つまり、インフラの設計や利用については、再び考え直す必要がある。この研究の目的は、現在使われているインフラ技術を調査し、今後その技術がどのように気候変動対策に寄与できるかについて評価することにある。

それぞれの研究事例は、以下の 5 つの調査基準に基づいて選ばれた。

1. インフラストラクチャー：研究事例は、既存のインフラに影響を与えるものか。
2. 横断的思考：研究事例は、現在の状況を十分に利用し、長期的視点に基づき、飛躍的なもので、再利用が行えるものか。
3. 国際性：研究事例は、国境を越えた協力を促し、また紛争を避けるものであるか。
4. 開発の段階：研究事例は、現在ある技術を使ったもの、またはそれを発展させたものであるか。
5. 代表性：研究事例は、様々なインフラ分野に相当するか。  
(例えば、適応、農業、通信、エネルギー)

10の事例から、フローティングシティ、多目的プラットフォーム、ハイブリッド護岸システム、スマート海底ケーブル、重力による電力貯蔵の5つを調査対象とした。それぞれの事例を、文献や報告書を用いて調査を行い、評価した。それぞれの事例は1)気候変動への適応と軽減能力、2)実現可能性とコスト、3)地球環境、社会への影響の3つの観点から評価し、1~5点に点数化した。1は最も悪く、5は最も良い評価であり、表1に、それぞれの基準の詳細が示されている。さらに、それぞれの点数は、実現可能性に応じてランク付けされ、評価の根拠も示した。

表 1: 研究事例を評価する基準

	気候変動への適応と緩和の可能性	実現可能性とコスト	環境的、社会的影響
	<p><b>適応能力:</b> リスク軽減、回復力、向上力、計画性、モニタリングと評価</p> <p><b>軽減能力:</b> 炭素削減、需要の削減、クリーンエネルギーへの転換</p>	<p><b>技術的な実現可能性:</b> 開発の段階、試用の結果、実証</p> <p><b>費用:</b> 開発、建設、維持費、便益そして代替案との比較</p>	<p><b>環境、社会への悪影響:</b> 生態系、環境汚染、排出物、紛争、健康被害</p> <p><b>環境、社会への相乗便益:</b> 生態系、希少種</p>
スコア			
1	<p>適応の可能性や軽減の可能性が全くない。</p> <p>気候への影響が、気候へのメリットよりかなり大きい。</p>	<p>現時点や近い将来において、実現は不可能。</p> <p>コストがかなりかかる。</p>	<p>地球環境や社会へ甚大な悪影響がある。</p> <p>相乗便益がない</p>
2	<p>適応の可能性や軽減の可能性がわずかにある。</p> <p>気候への影響が、気候へのメリットよりやや大きい。</p>	<p>現時点において、大幅な革新が必要となる。</p> <p>代替の技術よりコストがかかる。</p>	<p>地球環境や社会へ悪影響がある。</p> <p>わずかな相乗便益がある。</p>
3	<p>適応の可能性や軽減の可能性が中程度ある。</p> <p>マイナスの影響は少なく、気候へ与える恩恵のほうが上回る。</p>	<p>技術的には可能であるが、試用が必要である。</p> <p>コストが代替案と同程度である。</p>	<p>地球環境や社会への悪影響は比較的少ない。</p> <p>ある程度の相乗便益がある。</p>
4	<p>適応の可能性や軽減の可能性がある。</p> <p>気候への影響よりも、メリットのほうがはるかに大きい。</p>	<p>技術的に可能である。</p> <p>コストがほとんど(全てではない)の代替案より安い。</p>	<p>地球環境や社会への悪影響が少ない。</p> <p>かなりの相乗便益がみられる。</p>
5	<p>適応の可能性や軽減の可能性が非常にある。</p> <p>気候への影響がない</p>	<p>技術的に可能であり、コストも安い。</p>	<p>地球環境、社会への悪影響がない。</p> <p>著しい相乗便益がある。</p>

## フローティングシティ

過去 70 年間、メガフロートの研究開発は数多く行われてきた。メガフロートは、空港、軍事基地、海洋エネルギープラントとして利用され、最近では居住空間としての利用も目指している。

メガフロートとは、人工的に作られた海に浮かぶ物体である。メガフロートは、その形状によりポンツーン型とセミサブ型に分類される。ポンツーン型は、船体に似た構造で、波がほとんどなく海岸に近い場所で使用される。ポンツーン型は、メガフロートを留めておく係留装置や錨があり、通常は橋や道路により陸地と繋がっている。セミサブ型は、柱を使って海上より高い場所に設置されており、波が高い場所での利用に適している。またセミサブ型は、錨などで固定されていないため移動可能である。メガフロートは、長さが 1,000m から 10,000m、重さは 100 万トンから 1000 万トンで、50 年から 100 年もつ。

要素	点数	評価
気候変動への 適応と緩和の 可能性	4 低い確実性	フローティングシティが様々な問題の緩和につながる証拠は無いものの、厳しい気象条件に耐えられるよう建設されている場合、特定の場所において気候変動への適応策となる。特に低地の都市部での洪水対策として有効である。
実現可能性と コスト	2 中程度の確実性	開発する上で多くの課題があり、現時点ではフローティングシティは海面上昇への解決策とはならない。ポンツーン型は、比較的維持費や建設費は抑えられるが、それでも 50 億ドルから 150 億ドルかかる。
環境的、社会的 影響	3 低い確実性	メガフロート自身が環境に与える影響はほとんどないが、メガフロートを建設する際に必要なインフラが環境へもたらす影響については、ほとんど調査されていない。 メガフロートは、大規模な移住においては、社会的利益をもたらす。
総合スコア	9 低い確実性	この技術は、気候変動対策として、中程度の可能性がある。 メガフロートが都市部に作られた事例がないため、さらなる研究が必要であり、実現の可能性や環境や社会への影響について結論を出すためにも、さらなる研究が必要である。

## 食料生産やエネルギー生産のためのフローティングプラットフォーム

人口増加に伴う食料需要やエネルギー需要の高まりにより、海洋での生産に関心が高まっている。また、養殖とエネルギー生産を一緒に行う、浮遊式のインフラの研究も多く行われている。このようなものは、多目的フローティングプラットフォームと呼ばれている。このようなフローティングプラットフォームは、多角的に利用可能であり、外洋だけでなく浅瀬にも設置することができる。経済的、環境的、また技術的な側面において、このプラットフォームの実現の可能性は多様であり、簡単に一般化して論ずることはできない。

洋上農場は、多目的プラットフォームの一種であり、太陽光発電、水耕栽培、水産養殖を一つのフローティングプラットフォームに統合したものである。洋上農場は、複数のポントーンにより3階建ての構造物を支えている。1階では、再循環式水産養殖システムで魚を養殖している。2階には水耕栽培プラントがあり、1階の魚の排泄物を肥料として利用している。屋上にはソーラーパネルがあり、1階の養殖施設と2階の水耕栽培施設に必要なエネルギーを供給している。洋上農場は、係留システムにより海岸近くの浅瀬に設計される。

要素	点数	評価
気候変動への 適応と緩和の 可能性	3 適度な確実性	洋上農場は、農業の効率化や土地の有効利用により、気候変動を緩和する可能性はあるが、洋上農場単独では気候変動緩和の策とはならない。ただし、再生可能エネルギーを利用する多目的フローティングプラットフォームにより、気候変動への対応の可能性は高まるだろう。
実現可能性と コスト	3 低い確実性	実現可能なものとなるには、さらなる研究開発が必要となる。ただし、これまでの評価でコストパフォーマンスに優れていることは分かっている。既存のプラットフォームを再利用しているか、設置する場所はどこか、利用目的は何かなど、多くの要素が実現可能性に関係する。
環境的、社会的 影響	3 適度な確実性	技術の利用方法により、環境へのリスクが変わってくる。利用方法により、海洋環境や地元の漁業従事者に著しい悪影響を及ぼす可能性がある。 再循環式水産養殖システムの利用により、影響を緩和することができる。
総合スコア	9 中程度の確実性	この技術はまだ初期段階であり、技術的・経済的に実現が可能であるかは、さらなる研究が必要である。 環境へのリスクを減らし、海洋の生態系にプラスの効果をもたらすことを目指し、再生可能エネルギーと養殖システムを組み合わせる方法を見つける研究も必要である。 このプラットフォームの目的は複数あるが、認可をいかに取得するかという規制上の問題もある。

## ハイブリッドな沿岸回復の手法

地球の人口の大部分が居住する沿岸地域の人々の生活は、高潮や海面上昇が大きな脅威となる。防波堤や堤防などのハードインフラはコストがかかり、環境に影響を与えることも多い。一方、生態系の回復力を利用し、自然の摂理に基づいた解決法は、実行するのが困難なこともあり、十分な解決策とならないことも多い。このジレンマが、ハードインフラと自然の摂理に基づいた解決法の要素を組み合わせ、ハイブリッドな解決手法を生み出すきっかけとなった。

ハイブリッドな解決法は、人工構造物によるグレーインフラとグリーンインフラの中間にあり、以下のものがある。

1. 海洋生物の住処となる防波堤など、生態系とのつながりを保ち、生態系の働きを補助する役割を持つハードインフラ。
2. 防波堤と沿岸湿地のように、ハードインフラと生態系の組み合わせ。
3. 造礁種を呼び込む人工建造物など、保護が必要な生態系の育成を促進し、生態系を修復、さらに繁栄させるのに役立つハードインフラ。

要素	点数	評価
気候変動への 適応と緩和の 可能性	3 適度な確実性	ハイブリッドインフラは、自然または人工的なインフラを単独で利用するよりも、沿岸部をしっかりと保護することができる可能性があり、限定的ではあるが、二酸化炭素を吸収することも可能となる。総合的なデータが少ないため、ハイブリッドインフラの有効性を数値化することは難しい。
実現可能性と コスト	5 適度な確実性	ハイブリッドインフラの建設費用は、建設地によるが、多くはグレーインフラのみで建設した場合よりも費用は安く抑えられる(年間700億ドルで見積もった場合)。メンテナンス費は、そこに生息する生物による修復能力により、安く抑えることが可能である。
環境的、社会的 影響	5 適度な確実性	ハイブリッドインフラは、ハードインフラが環境へ与えた影響を軽減するものである。これは娯楽施設となったり、水の濾過を行ったり、魚を繁殖させたりすることができ、社会的にも経済的にも相乗効果を生む。しかし、環境的・社会的な効果を得るには、慎重に議論を行い、設計する必要がある。
総合スコア	13 適度な確実性	沿岸部に建設するハイブリッドインフラは、環境へのさまざまな相乗便益に加え、既存のインフラよりも低コストで気候変動への効果を期待できる最も有望な技術の一つである。



## スマート海底ケーブル

世界的に深海のデータが不足しており、気候の影響や経過観察が正確に行われていない。特に、深海や極地の正確なデータは不足しており、コストがかかることも多い。解決策として、既存の長距離海底通信ケーブル網にセンサーを内蔵することにより、コストを抑えながら広範囲の海洋の経過観察が行える。

ケーブルは、過去数十年間にわたり、海を観察するために使われてきた。1990年代においては、海底ケーブルは日本海沖の津波や地震を観測するために使われていた。それ以来いくつかの国は、ケーブル網を利用した観測所を設置した。例えばカナダのVENUS観測所やNEPTUNE観測所、日本の地震・津波観測監視システム(DONET)や日本海溝海底地震津波観測網(S-net)、そしてアメリカ海洋観察イニシアチブなどが設置されている。2012年、広域の海底ケーブルインフラを活用し、海洋の監視区域の拡大について検討する国連の共同タスクフォースが結成された。共同タスクフォースは、水圧や海水温、地震活動などを感知するセンサーを、新たな電気通信ケーブルに組み込むスマートケーブル構想を発表した。現在はアジア開発銀行の支援により、太平洋で短距離の海底ケーブルにセンサーを内蔵するデモンストレーションプロジェクトが行われている。

要素	点数	評価
気候変動への 適応と緩和の 可能性	4 高い確実性	スマートケーブルは、災害リスクの低減や海水の二酸化炭素量の推移、その他必要な海洋に関連するデータを集積することができ、大きな可能性を秘めている。得られたデータは、計画の適応性を精査したり、正確な警報システムの構築のために必要である。
実現可能性と コスト	4 高い確実性	スマートケーブルは、5～10年後にはほぼ全てのケーブルに適用されるかもしれない。スマートケーブル敷設にかかる年間費用は、効用が世界に及ぶことを考えると適正である。しかし、実現のためには技術的、法的問題の解決が必要となる。
環境的、社会的 影響	4 高い確実性	スマートケーブルの環境的、社会的影響については、まだ情報が乏しい。既存の通信ケーブルが既にあることを考えると、センサーを追加することが著しく影響を与えるとは考えにくい。深海とそこで暮らす生物の多様性を理解することにより、大きな環境的相乗便益をもたらす。
総合スコア	12 高い確実性	スマート海底ケーブルは、気候変動への適応策として大きな可能性を秘めている。環境的・社会的影響を最小限にとどめ、環境的な相乗便益を得ることができる。同程度のコストをかけて得る他の技術のデータよりも、正確で希少性のあるデータを得ることができる。このプロジェクトを開始するための準備は既にできている。

## 重力による電力貯蔵システム

重力による電力貯蔵システムは、エネルギーの貯蔵量を増やし、再生可能エネルギーの拡大を促進するため、効率が良くコスト削減にもなる点が評価されている。揚水発電は、現在世界の 98%のエネルギー貯蔵システムを占めている。このシステムは、電力の余剰があるが需要が少ない時に、水を貯水池から高いところまで汲み上げ、電力が必要な時間帯にはそれを一気に放水することにより発電機のタービンを動かし発電するものである。

現在、揚水発電よりも便利で、低コストで環境にやさしいものを目指し、開発が進められている。例えば地下揚水発電は、貯水池のすべてまたは一部を地下に設置すること以外は、揚水発電と原理は変わらない。採掘にかかるコストと環境への影響を避けるため、地下揚水発電は廃棄された鉱山など既存のインフラを利用して作ることが可能である。現在は、南アフリカにある金鉱やベルギーにある古い粘板岩の鉱山、スペインとドイツにある閉鎖された炭鉱などで地下揚水発電が行われている。他には、地下坑でケーブルを吊るして行うドライ重力エネルギー貯蔵システムや、水に浮かべてピストンや重量のあるものを利用して行う油圧式重力エネルギー貯蔵システムがある。

要素	点数	評価
気候変動への 適応と緩和の 可能性	<b>5</b> 高い確実性	エネルギー需要がピークの際にエネルギーを供給するため、エネルギー貯蔵システムは重要である。重力による電力貯蔵システム自身は、グリーンエコノミーに対応できるものではないが、化石燃料の使用を削減する役割を果たす。さらに、厳しい気象条件において、電気網の回復を促すことができる。
実現可能性と コスト	<b>4</b> 高い確実性	揚水発電は、すぐに発電を開始でき、寿命が長く、運営とメンテナンスコストが抑えられる効率的な貯蔵システムである。初期投資はコストがかかるが、他の発電設備に比べて、ユニット単体に全体を通してかかるコストは非常に低い。
環境的、社会的 影響	<b>4</b> 適度な確実性	新しいタイプの揚水発電は、リチウムイオン電池のようなものと比較すると、明らかに環境や社会への影響が少ない。最新の揚水発電は、水を繰り返し利用するため、生態系への直接的な影響を最小限に抑えることができる。さらに既存のインフラを再利用することにより、さらに影響は少なくなる。
総合スコア	<b>13</b> 高い確実性	重力による電力貯蔵システムは、気候変動の影響を緩和するため、画期的な解決策となる可能性が高い。この技術はすでに実験が行われており、既存のものより低コストで導入できることが分かっている。環境や社会への影響は既存のものよりも著しく低い。

## まとめ

このレポートで述べたインフラ技術は、気候変動に対して大きな可能性を秘めている。それぞれのインフラ技術は、目的がそれぞれ違うので、各々を比較することはできない。ハイブリッド護岸システムやスマートケーブルは、従来のインフラ技術より重要で有益であると考えられるが、多目的プラットフォームやフローティングシティは気候変動の解決策となるかはまだ分からない。

違う技術のインフラは、同時に設計することができる。例えば、多目的海上プラットフォームは、グレーインフラとグリーンインフラのハイブリッドで設計し、それを重力による電力貯蔵システムに組み込むことにより、風力発電や太陽光によるエネルギーを効率的に最大限に作り出すことができる。

今回の 5 つのインフラ技術に対し、研究費や技術的開発費用をさらに投資することも必要である。例えば、ハイブリッド護岸システムなど既に導入可能なものに対しては、追加の研究を行うことにより、採用への道が開けるだろう。重力による電力貯蔵システムやスマートケーブルについては、調査と分析により近いうちに導入可能となるであろう。フローティングシティと多目的プラットフォームは、さらなる実証実験を行うことで、持続可能で効果的であることが証明できるであろう。

	気候変動への 適応と緩和の 可能性	実現可能性と コスト	環境的、社会的 影響	総合スコア
フローティング シティ	4 低い確実性	2 中程度の確実性	3 低い確実性	9 低い確実性
多目的プラット フォーム	3 適度な確実性	3 低い確実性	3 中適度な確実性	9 中程度の確実性
ハイブリッド 護岸システム	4 適度な確実性	5 適度な確実性	4 適度な確実性	13 適度な確実性
スマート ケーブル	4 高い確実性	4 高い確実性	4 高い確実性	12 高い確実性
重力による電力 貯蔵システム	5 高い確実性	4 高い確実性	4 適度な確実性	13 高い確実性