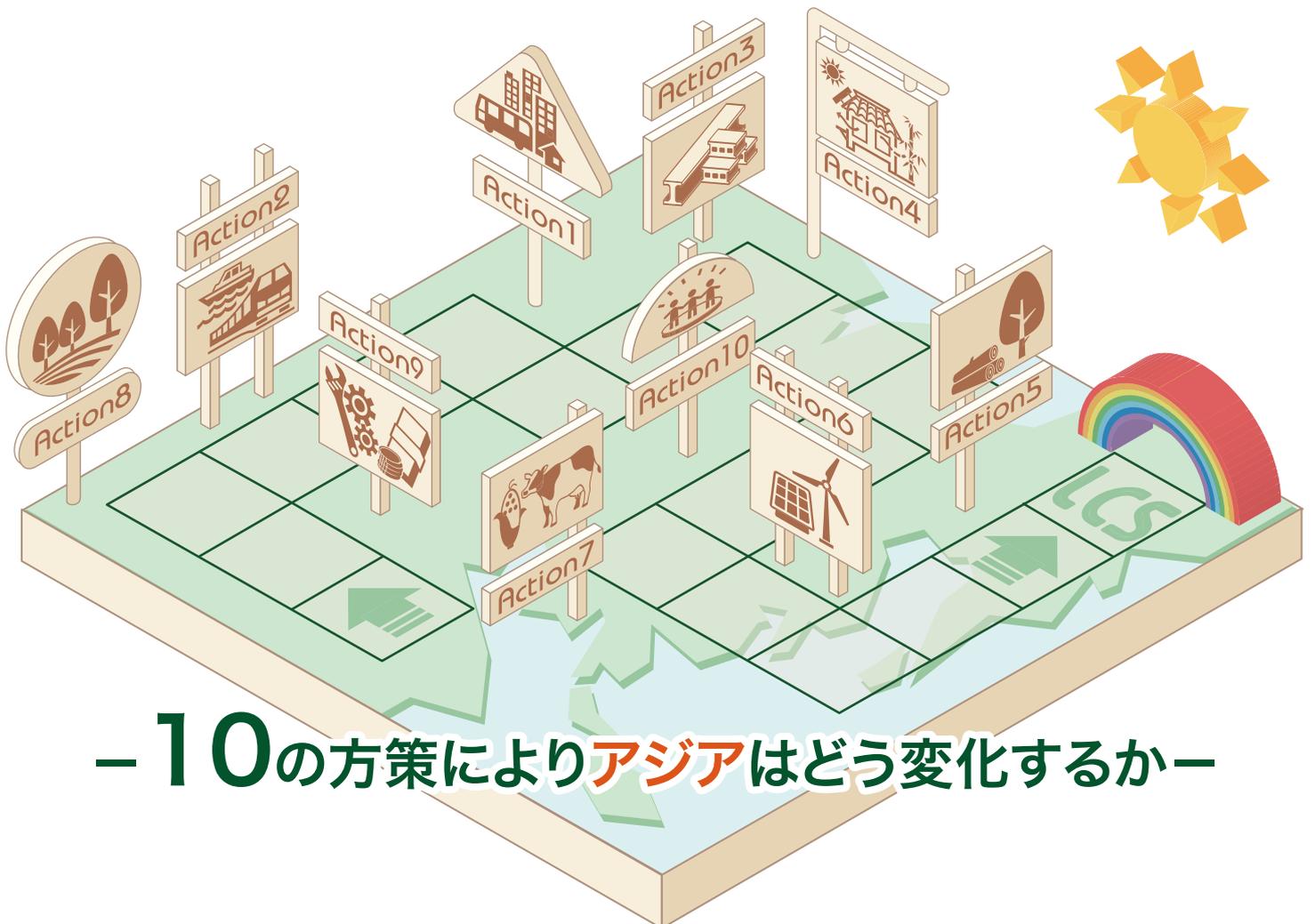


アジア低炭素社会

の実現に向けて



— 10の方策によりアジアはどう変化するか —



10の方策が導く アジア低炭素社会

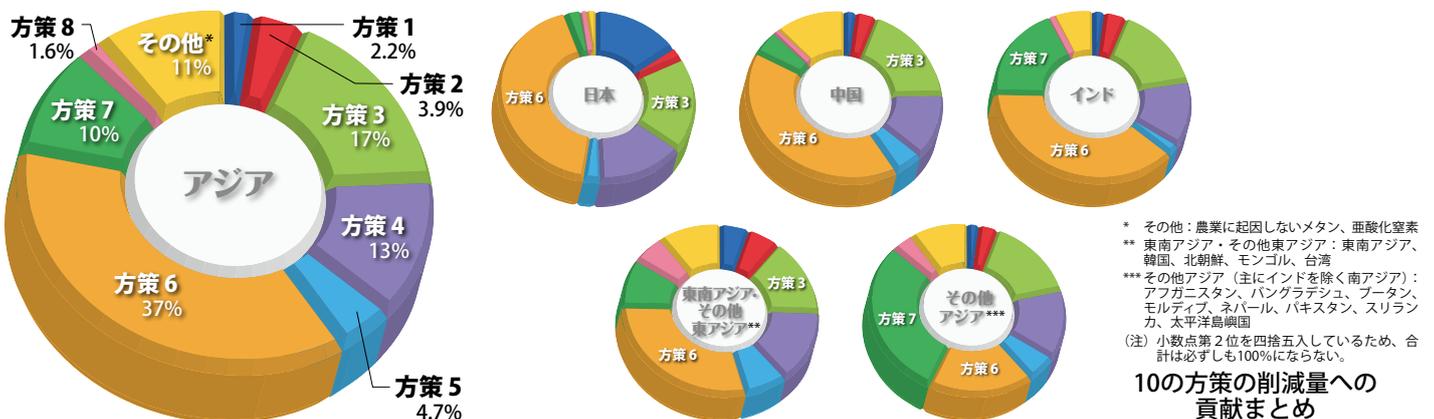
概要

2005年の世界の温室効果ガス排出量のうち、アジアは全体のおよそ38%を占めている。今後見込まれる急速な経済発展を鑑みると、なりゆき社会（温暖化対策を特に講じない社会）では、アジア地域からの温室効果ガス排出量は2005年に比べて約2倍になると予想される（図1）。2050年までに、世界が温室効果ガスを半減させた低炭素社会に移行するためには、アジアにおける排出削減が鍵を握っている。アジア地域では今後の経済発展に伴いエネルギー消費が大幅に増加することが予想され、燃料の燃焼に伴う二酸化炭素（CO₂）排出の抑制が重要な課題であることは言うまでもない。そのことに加え、アジア地域では燃料の燃焼以外による排出が現状で全体の4割と大きな割合を占めている。特に、森林などの土地利用の変化によるCO₂吸収源の減少、農地や家畜からのメタンや亜酸化窒素の排出は大きな課題であり、これらへの対策も重要である。また、低炭素社会実現に向けた対策を講じることによって、エネルギーアクセスの向上、大気汚染の改善や貧困の撲滅といった課題の解決につなげることも可能である。

アジアが低炭素社会に移行するのは容易ではなく、中央・地

方政府、民間企業、NGO・NPO、市民、そして国際社会それぞれが長期的な視点から目指す社会の姿をしっかりと見据え、担うべき役割を認識して相互協力しながら取り組みを進めることが肝要である。アジアといっても、国や地域によって発展レベル、資源量、気候条件や文化などが異なるため、それぞれ効果的な対策は変わりうる。しかし、アジアが低炭素社会に向かうために共通して求められることへの指針を示すことは、各国が実施可能かつ有効性の高い低炭素社会実現戦略や政策を検討する上できわめて有用である。

10の方策は、アジアが低炭素社会へ到達するための共通の方向性を示したものである。方策1から方策6までは、主に資源やエネルギーの生産・利用に伴うCO₂の削減を目指すための方向性を示している。方策7は主に農業からのメタンや亜酸化窒素削減のための対策であり、方策8は土地利用起源のCO₂排出・吸収源対策の方向性を示している。方策9と方策10は、方策1から方策8に示された方向性に沿った対策や政策を効果的に立案・実施する上で不可欠となる技術移転や資金供給制度、ガバナンスについての方向性を示したものである。次ページの表は、10の方策と方策ごとの鍵となる方向性をまとめたものである。



本研究は、環境省環境研究総合推進費S-6「アジア低炭素社会に向けた中長期的政策オプションの立案・予測・評価手法の開発とその普及に関する総合的研究（アジア低炭素社会研究プロジェクト）」（2009年度～2013年度）により実施されている。

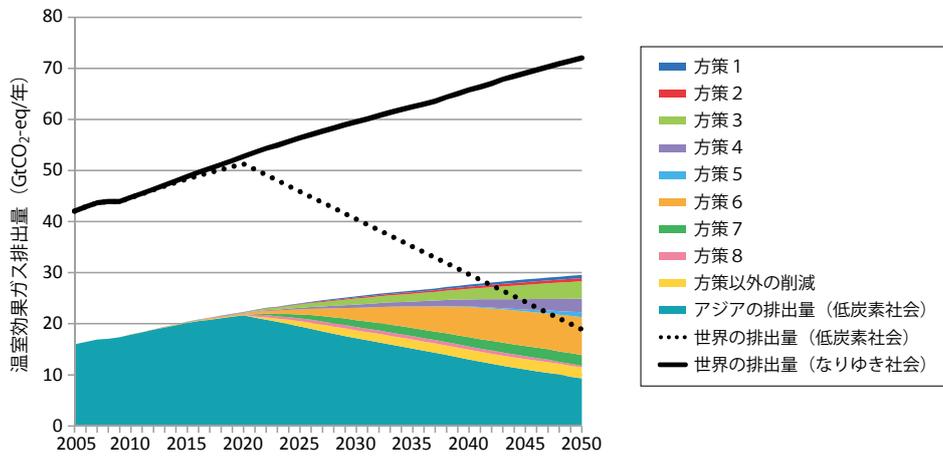


図1 10の方策を実施した時のアジア地域における排出量変化

2050年のアジアの温室効果ガス排出量は68%削減できる

10の方策とその他（農業に起因しないメタン、亜酸化窒素）の全ての対策を適切に実施することができれば、アジア地域の温室効果ガス排出量はなりゆきシナリオと比較して2050年には20GtCO₂-eq（68%）削減できる。

方策ごとの貢献度は、交通を対象とした方策1と2により6.1%、資源利用の低炭素化を目指す方策3に沿った対策を実施することで17%、建築物の省エネルギー化をすすめる方策4によって13%である。バイオマスエネルギーの活用を目指した方策5による貢献度は4.7%、その他のエネルギー供給システムに関する方策6は37%である。燃料燃焼由来以外の温室効果ガス排出に対する対策である方策7と8の貢献度は、それぞれ10%、1.6%と、CO₂排出量削減を目指した方策群よりも貢献度は低い、重要な位置づけを占めている。その他の削減量は11%を占める。

方策の効果は、国や地域によっても異なる。方策3、方策4、方策6は多くの国や地域の温室効果ガス削減に貢献しているが、インドでは方策7の農業部門の貢献が方策6のエネルギー部門に続いて大きい。また、その他アジア（主にインドを除く南アジア）においては、方策7の貢献度が最も高い。このような各国・各地域でのそれぞれの方策の有効性の違いも勘案しつつ、その地域に適した低炭素社会に向けた政策や対策を立案・実施することが必要である。

定量化について

10の方策の効果は、応用一般均衡モデルを用いて定量化した。モデルでは、世界を17の地域に分け、それぞれの地域において、家計、政府、生産者の主体を設定し、生産者は32種類の財ごとに區別している。エネルギーについては、発電方法や再生可能エネルギーを個別に取り扱っている。定量化では、先進的社會像と保守的社會像の2つの社會像の下での低炭素社会を検討した。以降の低炭素社会ケースの結果は、先進的社會像の下での結果を示す。

本プロジェクトでは、はじめに、温暖化対策を実施しない「なりゆき社会」ケースについて計算を行った。次に、低炭素社会実現に向けた方策を構成する対策を個別に織り込み、さらに、2050年の世界の温室効果ガス排出量を半減する経路を想定して、「低炭素社会」ケースの計算を行った。これら2つのケースにおける温室効果ガス排出量の計算結果の差から、各方策による温室効果ガス排出削減量を計算した。なお、モデルの詳細は、Fujimori et al. (2013) を参照して頂きたい。

本報告書で示す提言は、あくまで数多くある低炭素社会実現への道筋の一つを示しているに過ぎない。これらをたたき台にしつつ、アジア各国で各主体の議論が活性化し、地域の特性を踏まえた独自の行動指針を構築・実施していくことが望まれる。

S. Fujimori et al. (2013) Global low carbon society scenario analysis based on two representative socioeconomic scenarios, *Global Environmental Research*, 17(1).

<p>方策1：階層的に連結されたコンパクトシティ</p> <ul style="list-style-type: none"> コンパクトで階層的な中心機能配置 シームレスな階層的交通システム 自動車の低炭素化
<p>方策2：地域間鉄道・水運の主流化</p> <ul style="list-style-type: none"> 低炭素交通システムによる空間開発 鉄道・水運の整備を軸としたインターモーダルな旅客・物流交通システム 自動車・航空機の低炭素化
<p>方策3：資源の価値を最大限に引き出すモノ使い</p> <ul style="list-style-type: none"> 資源の利用を画期的に減らすモノづくり 寿命を長くするモノづくり 資源を繰り返し使用するシステムづくり
<p>方策4：光と風を活かす省エネ涼空間</p> <ul style="list-style-type: none"> 建物の高断熱化による省エネ涼空間の創出 省エネ機器導入のインセンティブ創設 第三者機関の評価を通じた努力の見える化
<p>方策5：バイオマス資源の地産地消</p> <ul style="list-style-type: none"> 食糧生産と競合しないバイオマスの持続的利用 地域資源を活かした農村の自立的エネルギー供給システムの確立 バイオマスの高度利用による住環境レベルの改善

<p>方策6：地域資源を余さず使う低炭素エネルギーシステム</p> <ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギーを中心とした持続可能な地域エネルギーシステムの確立 スマートなエネルギー需給システムの創出 適度に化石燃料と協調した高セキュリティのエネルギー供給の確保
<p>方策7：低排出な農業技術の普及</p> <ul style="list-style-type: none"> 水田の水管理技術の普及 適切な施肥と残渣の管理 家畜排せつ物からのメタン回収・利用
<p>方策8：持続可能な森林・土地利用管理</p> <ul style="list-style-type: none"> 持続可能な森林管理 持続可能な泥炭地管理 森林火災のモニタリング・抑制
<p>方策9：低炭素社会を実現する技術と資金</p> <ul style="list-style-type: none"> 民間企業が安心して技術開発するための環境整備 技術開発や普及促進を支援するための基金設立 低炭素製品を購入する意識の高い消費者の選好
<p>方策10：透明で公正な低炭素アジアを支えるガバナンス</p> <ul style="list-style-type: none"> 行政マネジメント枠組み構築 公正な市場原理に基づいた企業活動 環境政策・技術リテラシー向上

低炭素アジアに向けた10の方策



方策1

階層的に連結されたコンパクトシティー都市内交通ー



概要

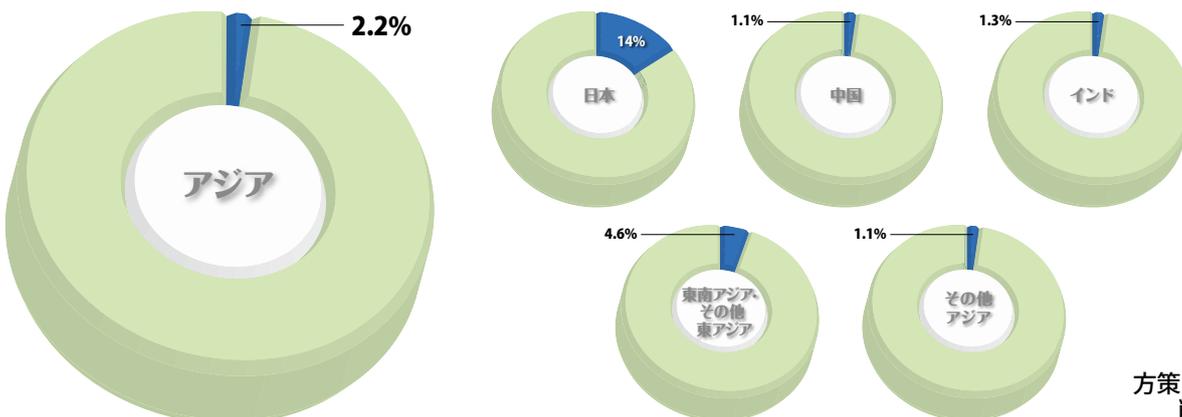
アジア途上国の大都市では、経済成長に伴い、モータリゼーションと都市スプロールが急速に進行し、交通渋滞や大気汚染など都市交通に関する様々な課題が顕在化している。問題解決に向けた取り組みとして増大する交通需要に対し道路インフラ整備を先行させることで、更なる自動車利用を引き起こす悪循環に陥っている。こうした反省のもとで、2000年頃から一部のアジア大都市において、都市内鉄軌道整備が始まったが、まだその利用が十分に浸透しているとはいえない。また、個々の車両技術（省エネ、大気汚染物質排出削減）についても、先進国に比べかなり遅れている。

このような現状を改善させ、アジアにおいて低炭素な交通システムを実現させるには、不必要な交通需要を回避する戦略（AVOID戦略）、低炭素交通手段に転換する戦略（SHIFT戦略）、輸送エネルギー消費効率を改善する戦略（IMPROVE戦略）の3つの戦略が必要である。都市内交通におけるAVOID戦略としては、コンパクトで階層的な中心機能配置、SHIFT戦略としてはシームレスな階層的な交通システムの構築、IMPROVE戦略としては自動車の低炭素化がある。また、アジアの国間スケールで整備が進む地域間交通システム（方策2）との連携を高めることで、道路渋滞を抑制していくことが重要となる。

これらの戦略を進める上での政府の役割は、高速鉄道整備

に整合した沿線都市開発のビジョンをもとに、目標とするCO₂削減量を達成するために必要な都市空間構造、交通ネットワーク、交通機関の組み合わせをバックキャストにより特定し、その実現のための制度等を整備することである。これを後押しするために、国際政治は、政府開発援助のグリーン化と、新たに導入される低炭素開発への資金メカニズムにおいて、低炭素交通システムの構築の支援を組み込むことが求められる。一方で、産業界は、今後需要が大きく伸びる都市内交通の車両について、小型車の電化技術開発を行う役割が期待される。同時に、市民においては、乗用車利用を選好する従来のモビリティ改善欲求から、公共交通の利用と小型車両を利用して、より質の高い生活水準を目指す意識転換が必要である。

2050年には、国際的な旅客・貨物用の高速鉄道網整備が沿線都市への産業・人口集積を促進するため、これらの戦略を早期に実施することによって、沿線都市の特性に応じて車に依存しない低炭素で持続可能な土地利用交通システムが形成される。このシステムは、地域間交通と連携した都市物流の効率化や都市公共交通の高速化により、グローバルな経済活動に必要な交通需要を支える。一方で、資源の制約が強まると同時に、アジア途上国でも2030年頃から高齢化社会へ移行するため、多様な移動需要の増加に適用可能な低炭素土地利用交通システムが、都市インフラのストックとして構築される。



方策1による温室効果ガス削減量への貢献度

方策によりアジアはどう変化するか

アジアの経済発展に伴い、交通需要とそれに伴う交通起源のCO₂排出量のさらなる増加が見込まれる。都市内交通の低炭素化には、幹線公共交通の整備とコンパクトな都市構造への転換による自動車利用からの転換（SHIFT戦略）、不必要な移動需要の回避（AVOID戦略）、個々の輸送機器のエネルギー効率改善（IMPROVE戦略）を図ることが有効である。

これらの戦略を実施することで、2050年には都市人口密度に応じて都市鉄道やバス高速輸送システムなど幹線公共交通機関網が整備され、高い公共交通利用が実現されることになる。これに対応して、定量化分析においては、自動車旅客輸送が効率化され、家庭における自動車旅客輸送の需要が2050年までに2005年と比較して約20%減少するとした。また、2050年の企業活動に伴う自動車旅客需要については、2005年の単位生産当たりの需要量と比較して約20%減少するとした。また、戦略の実施により物流システムが効率化され、2050年の各部門における単位生産当たりの貨物輸送需要量は、2005年と比較して10%減少するとした。

幹線公共交通機関網の整備に加え、高齢化社会に対応するための近距離用小型パーソナルモビリティが普及し、バス・パラトランジット*による交通端末が幹線交通と連携した階層的な交通システムとなる。これにより、2050年には自家用自動車による旅客輸送が、バスや鉄道の公共システムにそ

れぞれ約20%ずつシフトするとした。

また、このような交通システムを支えるために、都心と周辺拠点に都市機能が分散し、高密度で多極階層的な土地利用形態になる。このような多極階層的な都市開発の促進も、自動車旅客輸送の削減に効果的であり、2050年の企業活動に伴う自動車旅客輸送量については、2005年の単位生産当たりの需要量と比較して約20%減少するとした。

低炭素社会では自動車車両技術も向上しており、2050年には対策をとらないなりゆき社会の場合と比較して、自動車、トラック、バスのエネルギー効率が年率0.5%ずつ改善すると見込んだ。

これらの方策により、2050年には、都市内交通需要が過大とならないように適切な土地利用、人口配分が実現されるとともに、自家用自動車から公共交通への転換が図られ、低炭素社会における旅客需要は、なりゆき社会のそれよりも抑制される。アジア全域でみると、旅客交通量については2050年に低炭素社会を目指すケースでは、自家用自動車の旅客交通量の低下が図られることにより、なりゆき社会と比較して23%低下する（図1-1）。

*パラトランジット：鉄道・バスなどの大量輸送機関とタクシー・自家用車などの個別輸送機関の中間に位置する中間的な交通機関の総称。

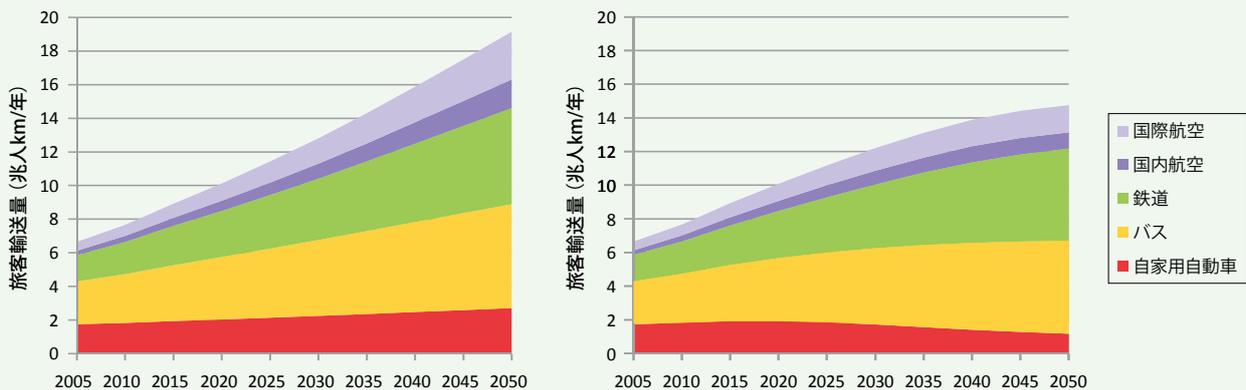


図1-1 なりゆき社会（左）と低炭素社会（右）の旅客輸送量の推移

方策の貢献度

方策1による温室効果ガス削減量は、アジア全域で0.46GtCO₂-eqである。そのうち、日本、中国、インド、東南アジア・その他東アジア、その他アジア（主にインドを除く南アジア）のシェアは、それぞれ、27%、25%、10%、34%、4.0%である（図1-2）。

アジア全域での温室効果ガス削減量に対する方策1の貢献度は2.2%である。ここでは都市内交通からの直接的な排出量のみを対象としているため、貢献度は比較的小さい。

各国・地域別に見ると、中国やインド、東南アジア・その他東アジア、その他アジアでは、アジア全体と同様に方策1の貢献度は小さい。しかし、日本では方策1の貢献度は14%と他の地域と比較して大きい。これは、日本では現状において旅客交通における自家用自動車からの排出量が大きいため、輸送需要の抑制や公共交通へのシフトや高効率な輸送手段の導入促進による削減量が大きく見込めるためである。

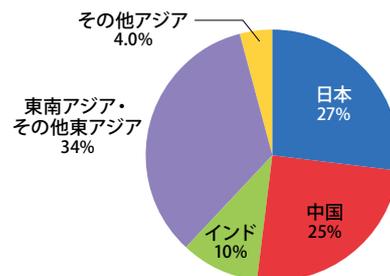


図1-2 2050年の低炭素社会におけるアジアの都市内交通対策による温室効果ガス削減量のうち各国、地域が占める割合



方策の構成要素

方策 1 は、(1) コンパクトで階層的な中心機能配置、(2) シームレスな階層的な交通システム、(3) 自動車の低炭素化、の 3 つの小方策から構成される。

1.1 コンパクトで階層的な中心機能配置 (AVOID戦略)

1.1.1 公共交通幹線軸上の産業拠点開発の促進
1.1.1.1 統合的な都市地域計画と交通計画の策定
1.1.1.2 開発利益還元 (Value Capture) による駅周辺開発促進
1.1.1.3 駅周辺における非車保有者への立地税優遇
1.1.2 都心部での乗用車利用の排除
1.1.2.1 乗用車利用規制
1.1.2.2 スローモード空間整備
1.1.2.3 コミュニティ施設整備

1.1.1 公共交通幹線軸上の産業拠点開発の促進：経済成長下において交通トリップそのものを抑制することは難しいものの、交通目的別のトリップ移動距離を抑制可能な土地利用交通システムを構築することは重要である。高速鉄道整備により都市に流入する産業活動を、無秩序なスプロール開発により分散させると、移動距離の増大だけでなく産業集積効果が上がらず、逆に周辺都市との競合から衰退してしまうこともある。一方で、貨物高速鉄道整備により、従来道路交通を中心としてきた物流を鉄道へと転換させることで、郊外でも製造業をはじめとした産業を高速鉄道や都市公共交通の駅周辺に集積することが可能となる。産業開発と住宅開発を都市の幹線公共交通駅周辺で一体的に行う公共交通指向型開発 (TOD : Transit Oriented Development) は、職住近接を促し近距離完結型の拠点の開発につながる。このような産業拠点の TOD を行うためには、多くの途上国都市で個別に策定されている都市地域計画と交通計画を統合する必要がある。また、近距離完結な活動に必要な高密度な開発を進めるために、開発コストの安い発展初期段階で開発を行い、開発による地価上昇の利益を更なる開発に還元する Value Capture の手法が有効となる。都市スプロールが進行するにつれ都心部から近郊・郊外部へと Value Capture の手法を適用することで、開発が促進される。そして、この開発を車利用抑制に繋げるため、駅周辺における非車保有者への立地税優遇も重要である。

1.1.2 都心部での乗用車利用の排除：より大胆なアプローチとして、都心部から乗用車利用を排除することも重要である。鉄道整備といった大規模なインフラ整備は、財政的にも資源制約的にも、必ずしも実現可能とはならない。都心部で乗用車を排除し、スローモードを中心とした都心部内の移動可能性を高めることで、必要な幹線公共交通整備の規模を抑制できる。まず、都心部における駐車場の開発や利用について規制を行うことで、都心部への乗用車利用の流入を抑制する必要がある。そして、都心部における乗用車の走行そのものを規制し、居住者の乗用車利用を含めて排除していくことで大きな効果は期待できる。これに応じて、既存の道路空間の再配分を行い、従来優先されてきた自家用利用の道路空間をスローモードの空間へと転換することで、都心部内のアクセスを改善する。加えて、高齢者や低所得者が都市スプロールにより健康・教育といったサービスへのアクセスが低下することを防ぐため、コミュニティ施設の整備も必要となる。

1.2 シームレスな階層的な交通システム (SHIFT戦略)

1.2.1 新規幹線公共交通網の先行整備
1.2.1.1 高速・大容量輸送が可能な鉄道・BRT整備
1.2.1.2 拠点間を結ぶ放射環状幹線公共交通網の形成
1.2.2 既存末端交通システムの改善
1.2.2.1 バス・パラトランジットの幹線・末端サービス分離
1.2.2.2 小地区内巡回交通サービスの強化
1.2.2.3 小型パーソナルモビリティシェアの促進
1.2.3 統合的な公共交通システムの運営
1.2.3.1 ICT活用の運輸事業者運営効率化・現代化
1.2.3.2 パラトランジット運営システムの再構築

1.2.1 新規幹線公共交通網の先行整備：都市交通計画では、増大する交通需要が車依存にならないために、より低炭素な公共交通へ転換することが求められる。高速鉄道沿線の産業集積に伴う通勤・業務・観光といった新規の都市旅客交通需要に対して、早期に公共交通利用を習慣づけるため、先行的に都市公共交通幹線網の新規整備を行うことが重要となる。都市公共交通網が高速鉄道駅を含めた都市内拠点間を結ぶことで、地域間と都市内の公共交通利便性が高まり、その相乗効果を通して更なる公共交通需要の増加へと繋がる。途上国では、短期的な整備コストの制約のため小容量輸送システムの整備になりがちだが、将来的な需要増加を見込んで高速化・大容量輸送が可能な鉄道やバス高速輸送システム (BRT : Bus Rapid Transit) といったインフラを整備初期段階で導入することは重要である。また、都心への通勤交通のための放射状網だけでなく、高齢化による増加が見込まれる都心以外への非通勤需要に対応した環状網の構築も重要である。

1.2.2 既存末端交通システムの改善：幹線システムの利用を促進するためには、その駅への末端輸送が重要で、パラトランジットといった既存の交通モードを利用した末端交通システムの改善が必要である。具体的には、まず、バス・パラトランジットの幹線・末端サービスを分離することで、都心部での公共交通サービスの過剰供給による渋滞を抑制する。また、小地区内巡回交通サービスを強化し、今後交通需要が増える低所得者や高齢者に公共交通利用を習慣づけ、公共交通の需要をさらに促進する。近距離の移動容易性の高い電動の小型パーソナルモビリティも高齢者のモビリティを支える上で有効であり、そのシェアサービスを充実させることで、シームレスな交通が可能となる。

1.2.3 統合的な公共交通システムの運営：公共交通機関の利便性をさらに高めるために、幹線・末端交通に含まれる様々な公共交通機関を、統合的に運営するシステムを構築することも有効である。情報通信技術 (ICT) の活用を通じて、モード間で一体的な運賃管理や、動的な需要に応じた運行管理を行い、乗り換え抵抗の低い公共交通システムを構築することで、運輸事業者の運営を効率化する。また、経済成長によりパラトランジットのような個人事業者が廃業にならないよう、コミュニティを中心とする輸送サービスの役割を強化し、運営が維持できるようなシステムを再構築する。

1.3 自動車の低炭素化 (IMPROVE戦略)

1.3.1 車両の技術改善
1.3.1.1 小型EV (二輪・パラトランジット・配送車) の普及
1.3.1.2 CNGバス・EV・ディーゼルHV・FCVの普及



1.3.2 代替エネルギーの利用促進

1.3.2.1 バイオ燃料の普及

1.3.2.2 スマートグリッドの構築

1.3.3 都市内物流システムの効率化

1.3.3.1 郊外における物流拠点の整備

1.3.3.2 物流拠点に接続する都市高速道路網の構築

1.3.1 車両の技術改善：大都市と異なり、地方都市のような人口密度が低く公共交通需要が十分にない地域では公共交通整備が非効率であるため、車両の技術改善を通じて自動車のエネルギー効率を上げる方が有効である。車両技術の改善としては、電気自動車（EV）の技術開発は小型車で進んでおり、二輪、パラトランジット、配送者を中心にその普及を促進することが可能である。低炭素な大型車の技術開発はより時間を要するが、圧縮天然ガス（CNG）バス、EV、ディーゼルHV（ハイブリッド）、燃料電池自動車（FCV）は、2050年までにはその普及が見込まれる。なお、こうした新技術の導入の実現のためには、先進国からの技術的な支援が不可欠である。

1.3.2 代替エネルギーの利用促進：バイオエネルギーなど温暖化に寄与しない代替エネルギーの利用促進・普及も必要である。地産地消のバイオ燃料はアジア途上国都市でもその利用可能性は潜在的に高い。EVの普及のためには、電気スタンドといったインフラ整備が必要不可欠であるとともに、再生可能エネルギーを活用した発電設備の整備が有効であり、これらを都市・地区レベルで効率的に管理するスマートグリッドの構築の進展が期待される。

1.3.3 都市内物流システムの効率化：自動車の消費エネルギー効率の改善は、車両や燃料の技術改善だけでなく、道路交通流の効率化によっても実現する。特に、地域間物流の端末としても必要な都市内物流は道路交通を中心とするため、都市内における物流システムの効率化が重要である。都市の郊外における貨物高速鉄道駅周辺に、都市内への集配施設のターミナルを設置した物流拠点を整備し、これを放射環状の都市高速道路網と接続することで、都市内における物流交通の効率化を図る。

バンコクにおける鉄道優先整備への政策転換による低炭素化

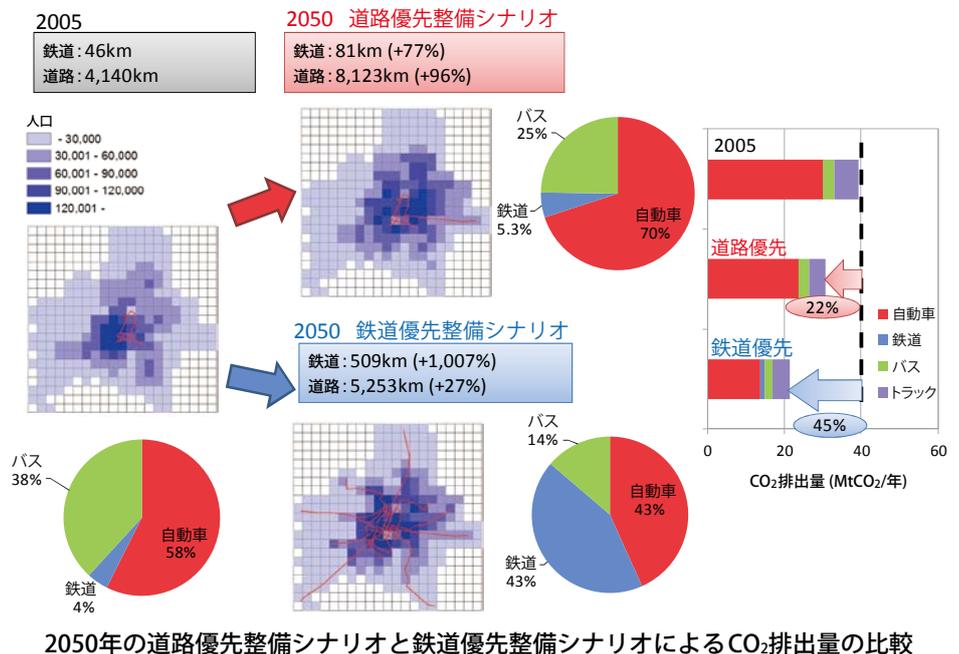
タイでは他のアジア途上国と同様に道路を中心とした交通インフラ整備を90年代まで行ってきたが、2000年代にバンコクで鉄軌道整備が進み、その整備方針が大きく変わりつつある。1960年に策定されたバンコクの都市計画（Litchfield Plan）では、アメリカ型の大型道路整備を中心に位置付け、それに伴い車依存型の都市開発が進められた。しかし、道路渋滞が深刻化するにつれ鉄軌道整備の動きが90年代に進み、1999年のスカイトレイン整備、2004年の地下鉄整備、2010年のエアポートリンクの整備を通して、都市の鉄軌道整備が総延長約80キロに至るまでになった。このような鉄軌道整備によりその重要性への認識が高まり、現在のタイの国土交通整備計画では高速鉄道新規整備、既存地域間鉄道改善に加え都市鉄軌道整備が柱となり、交通投資に関する国家予算の約8割を鉄道整備にあてる案が検討されている。

これを踏まえ、2050年のバンコクを対象に、道路優先整備を続けた場合と、鉄道優先整備への転換が実現した場合の有効性の比較を検証した。2050年までのGDP成長予測をもとに道路・鉄道インフラ整備への合計投資可能額を推計し、これを2010年以降全て道路整備に投資する道路優先整備シナリオと、タイ運輸省交通政策局によって計画されている約500キロの都市鉄軌道網整備に優先的に投資する鉄道優先整備シナリオを設定した。道路優先整備シナリオでは車利用が促進しモーターゼーション・スプロールが加速していく一方、鉄道優先整備シナリオでは鉄道整備沿線の開発が促進し鉄道

利用がより普及する。この結果、鉄道優先整備シナリオは、2005年に比べCO₂排出量を約45%削減するとともに、道路需要を鉄道需要へと転換することで道路交通の所要時間を約30%短縮できることが分かった。また、自動車車両の燃費改善やEV化といった技術改善を考慮しても、鉄道優先整備シナリオは、道路優先整備シナリオよりCO₂削減効果が大きく、渋滞改善効果も大きいことが示された。（中村一樹）

参考文献

K. Nakamura, Y. Hayashi and H. Kato (2013) Low-carbon Land-use Transport Systems to Improve Liveability for Asian Developing Cities, *The Selected Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research*.





方策2

地域間鉄道・水運の主流化ー地域間交通ー



概要

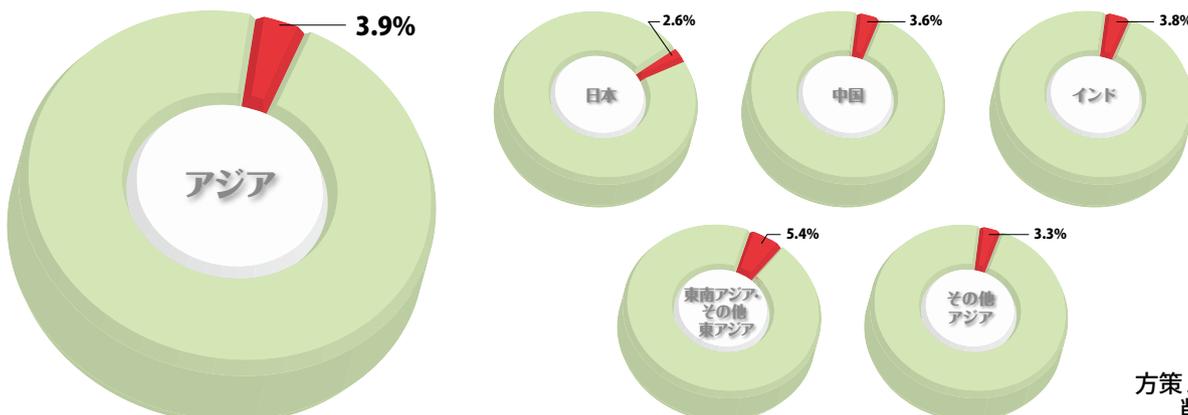
成長過程にあるアジアの途上国では、今後も世界の他地域と比較して国際旅客需要、国際貨物需要の成長率は高めに推移すると見込まれる。アジア全域の国際貨物輸送は海上輸送が支配的であり、現状は低炭素輸送であるものの、短距離・中距離でトラック輸送が増加している。国際旅客は、LCCの成長により距離あたり平均航空運賃が低下し、需要とCO₂排出量が増えている。今後は、グローバル経済の進展とASEANにおける2015年のAEC (ASEAN Economic Community) 成立により、国内経済成長以上に国際輸送は増加すると見込まれている。

アジアにおいて低炭素な地域間交通を実現させるには、方策1の都市内交通と同様、不必要な交通需要を回避するAVOID戦略、低炭素交通手段に転換するSHIFT戦略、輸送エネルギー消費効率を改善するIMPROVE戦略が有効である。AVOID戦略としては、貨物高速鉄道により産業コリドーを形成するような、地域間スケールでの産業の鉄道指向型開発(産業ROD: Rail Oriented Development)を提案する。SHIFT戦略としては、道路輸送主体から一転し、低炭素な鉄道・水運の整備を軸としたインターモーダル交通システムの構築が必要である。IMPROVE戦略としては、輸送手段の電化や代替燃料の拡大、輸送機器の軽量化等による自動車・航空機の低炭素化がある。中国から大メコン圏(GMS: Greater Mekong Subregion)に至る大陸域内では、旅客輸送を航空から高速鉄道

へ、貨物輸送をトラックから鉄道・水運へ転換することによる効果が高い。高速鉄道を貨物にも利用することで、中距離以上では時間短縮効果とともに単位当たり輸送コストの削減も見込まれ、それを軸とした産業集積が進むことで、さらなる低炭素化が望める。

これらの戦略を進めるに当たり、政府は目標とするCO₂排出量からのバックキャストにより、必要となる鉄道、港湾、Dry Port (内陸物流拠点)、及び各交通機関を繋ぐインターモーダルな低炭素地域間交通システムを特定し、その実現のための制度を制定する役割を持つ。一方で、産業界は、工場間や需要地への輸送距離が短く鉄道・海運を積極的に利用するサプライチェーンネットワークを構築し、自動車や航空機も低環境負荷な技術へと更新を進めることで、今後需要が大きく伸びる地域間旅客・貨物移動の低炭素化に貢献できる。

これらの戦略を実現することにより、沿海部の都市間は、海運だけでなく高速鉄道を軸とした低炭素な交通機関で結ばれる。GMS域内や中国の内陸部でも、高速鉄道とローカル鉄道や技術開発の進んだ大型トレーラー等が組み合わせられた低炭素な交通システムが沿海部と接続するよう導入され、インターモーダル交通システムが構築される。また、環境負荷に応じた課税を実施することで、産業立地やサプライチェーンの構築にコストと環境負荷の両面が考慮されるようになり、鉄道・水運を中心とした低炭素地域間交通システム沿線に産業集積が進む。



方策2による温室効果ガス削減量への貢献度

方策によりアジアはどう変化するか

都市内交通と同様に、地域間交通においてもAVOID戦略、SHIFT戦略、IMPROVE戦略の3つの視点からの対策が有効である。今後、アジアの国際旅客・貨物需要は確実に増加することが見込まれており、鉄道や水運を軸とした開発を進めることが必要となる（AVOID戦略）。旅客需要と貨物需要とでとるべきSHIFT戦略は異なり、旅客需要については中国からメコン流域にかけての大陸域内では、航空輸送から高速鉄道へのモーダルシフトが有効な戦略であり、貨物輸送については、トラック輸送から鉄道や河川を利用した船舶による輸送へのシフトを促進させることが戦略として効果が高い。これらに加えて、大型トレーラー、航空機、船舶の技術開発や燃料の技術革新によるIMPROVE戦略が必要となる。

これらの戦略を適切に実施し、環境負荷に応じた課税を通じて産業立地や物流システムの構築にあたってコストと環境負荷の両面を考慮するようになり、鉄道と水運を中心とした地域間交通システムが発達する。このような「低炭素交通システムによる空間開発」に対応して、定量化分析では、産業や民生部門の単位生産当たりの航空機や船舶の移動は、2050年に2005年と比較して約20%削減するとした。

また、日本から中国、東南アジアに至る沿海部では、海運を中心とした地域間開発が進み、これらの都市は鉄道や技術開発の進んだ大型トレーラー等の低炭素な交通輸送システムで結ばれることになる。さらに、内陸部でも沿海部と同様に

鉄道や水運を軸とした産業集積が進み、沿岸と内陸を結ぶ低炭素な交通システムが導入され、インターモーダルな旅客・物流交通システムが構築される。このような「鉄道・水運の整備を軸としたインターモーダルな旅客・物流システム」の整備に対応して、定量化分析では、産業や民生部門の単位生産当たりの航空機や船舶の移動サービス量が、2050年までに2005年と比較して各部門で約20%削減できるとした。

「自動車・航空機の低炭素化」では、トラックや航空機のエネルギー効率が、2050年までになりゆき社会のそれと比較して、毎年0.5%ずつさらなる改善が進むものとした。このほか、低炭素社会ではバイオ燃料についても導入が促進されると見込んだ。

都市内交通（方策1）と同様、地域間交通においても各輸送機器のエネルギー効率改善が実現するとともに、鉄道や水運を中心とした低炭素な物流、旅客交通システムが実現し、輸送量そのものは低下する。アジア全体の貨物交通量については、上述の対策以外の対策も含めて2050年に低炭素社会ではなりゆき社会と比較して35%減少する。低炭素社会におけるトラックのシェアは、なりゆき社会のそれと比較して減少しているのに対して、鉄道はシェアが増加している。一方で、国際海運、国際航空の貨物輸送量は、なりゆき社会と比較して29%減少するものの、国内貨物輸送量の減少率と比べると下げ幅は小さくなっている（図2-1）。

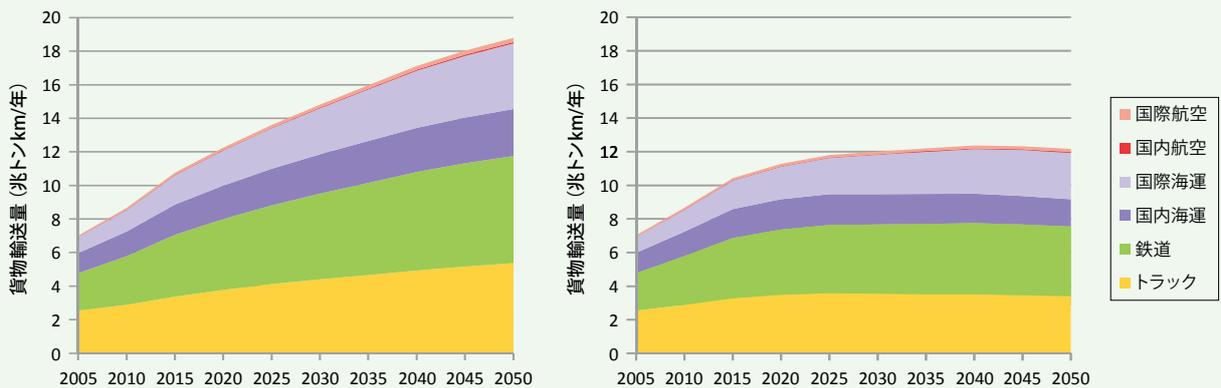


図2-1 なりゆき社会（左）と低炭素社会（右）の貨物輸送量の推移

方策の貢献度

アジアにおける2050年の地域間交通からの温室効果ガス排出量は、なりゆき社会では1.41GtCO₂-eqであり、方策2に示した各対策を実施する低炭素社会ではなりゆき社会より56%削減することができ、0.62GtCO₂-eqとなる（図2-2）。そのうち、日本、中国、インド、東南アジア・その他東アジア、その他アジア（主にインドを除く南アジア）のシェアは、それぞれ、2.9%、49%、18%、23%、7.2%である。

アジア全域での温室効果ガス削減量に対する方策2の貢献度は3.9%である。各国・地域別の削減量全体に対する貢献については、3~5%とほぼ同じ水準である。東南アジア・その他東アジア地域での削減量全体に対する寄与が一番大きく5.4%となった。東南アジア・その他東アジア地域では地域内の交通需要が今後さらに高まることが予想されており、鉄道、水運の主流化により、温室効果ガスの削減が可能となる。

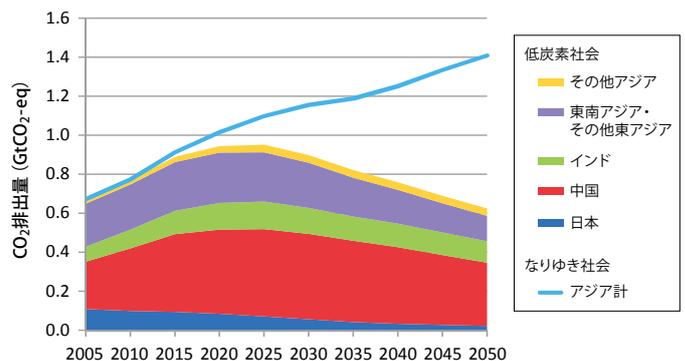


図2-2 地域間交通からのCO₂排出量の推移



方策の構成要素

方策2は、(1) 低炭素交通システムによる空間開発、(2) 鉄道・水運の整備を軸としたインターモーダルな旅客・物流交通システム、(3) 自動車・航空機の低炭素化、の3つの小方策から構成される。

2.1 低炭素交通システムによる空間開発 (AVOID戦略)

2.1.1 貨物高速鉄道による産業コリドー形成
2.1.1.1 貨物輸送を含めた高速鉄道整備計画の再構築
2.1.1.2 産業分散化に伴う新規高速鉄道路線の整備
2.1.1.3 港湾拠点化に伴う高速鉄道路線の整備
2.1.2 貨物高速鉄道の幹線・端末接続拠点への産業集積
2.1.2.1 貨物来在鉄道網の整備
2.1.2.2 Dry Portの整備
2.1.2.3 高速鉄道駅周辺への産業集積によるサプライチェーンの再構築
2.1.3 交通需要発生を抑制する制度・システムの構築
2.1.3.1 炭素税の導入
2.1.3.2 カーボンフットプリント制度の導入
2.1.3.3 オンライン会議システムの整備

2.1.1 貨物高速鉄道による産業コリドー形成：2050年には中国、タイ、マレーシア、ベトナム、ミャンマーが製造業の中心となり、AEC成立により国家間の人流・物流の動きが飛躍的に活発化することは間違いない。このような大陸域内の国際旅客・貨物の需要増加に対応するため、中国国内の鉄道利用を促進するとともに、GMS域内にも高速鉄道を新規整備し、中国とGMSを結ぶことが重要である。まず、1) 中国南部の玄関口となる昆明からバンコクを通りシンガポールへ至る南北軸の旅客高速鉄道路線の構想があるが、この構想において貨物高速鉄道を併せて整備することが有効であると考えられる。また、2) 所得上昇に伴うバンコクからの産業分散に対応するGMS域内路線として、バンコクから成長著しいミャンマーのヤンゴンに至る旅客普通鉄道整備計画については、計画をバンコクからベトナムのハノイを加えた2路線に拡張し、貨物にも利用できる高速鉄道整備計画として再構築することも必要であろう。さらに、3) ミャンマー西側に位置するチャオピュー港は水深が深く、大規模船舶が寄港可能な玄関口となることが期待される。そこで、チャオピュー港をコンテナ等の一般貨物のハブ港として位置づけ、ここからヤンゴンと昆明へと結ぶ旅客鉄道整備計画を、貨物利用を含めた高速鉄道整備計画とすることも有効であると思われる。

2.1.2 貨物高速鉄道の幹線・端末接続拠点への産業集積：貨物高速鉄道の活用において、その沿線への産業集積を促すことで、サプライチェーンが効率化される。まず、内陸部での広域な貨物鉄道網の利便性を確保するため、重量貨物も輸送可能な在来鉄道網を整備し、貨物高速鉄道網の端末交通として接続することが必要である。そして、その端末交通における集配システムを効率化するため、都市郊外の高速道路と連携した貨物鉄道の接続拠点にDry Portを整備することで、都市部への過剰な貨物輸送による道路渋滞を軽減し、配達における速達性の向上と低炭素化の両立を図る。加えて、Dry Portの周辺に産業集積を促すことにより、サプライヤーとサプライヤー、サプライヤーと組立工場、組立工場と需要地の輸送距離が短縮される。

2.1.3 交通需要発生を抑制する制度・システムの構築：サブ

ライチェーンの再構築による低炭素化の実現には、事業者のみならず、消費者にも意識の変革が求められ、製造段階の輸送距離を最小化する地産地消型の製品がより多く好まれるようにする必要がある。その有効な手段の1つとして炭素税の導入が挙げられる。また、カーボンフットプリントの推計義務の拡大や、製品への表示、生産者情報の提示といった情報の整備も重要となる。さらに、ICTを十分に活用することで、打ち合わせ等の長距離移動の業務交通の抑制が期待できる。

2.2 鉄道・水運の整備を軸としたインターモーダルな旅客・物流交通システム (SHIFT戦略)

2.2.1 国際水運を支える港湾拠点の整備
2.2.1.1 大型コンテナ船が寄港できるヤードの拡大
2.2.1.2 鉄道と連結するトランジットヤードの整備
2.2.1.3 臨海工業団地の一体整備
2.2.2 内陸における高速鉄道を支えるインフラの整備
2.2.2.1 高速鉄道を軸とした貨物鉄道路線網の整備
2.2.2.2 貨物鉄道オペレーション技術の習得促進
2.2.3 低炭素交通機関利用を促す制度の構築
2.2.3.1 燃料助成金の廃止
2.2.3.2 燃料税/炭素税の導入

2.2.1 国際水運を支える港湾拠点の整備：大陸域外の貨物輸送では、引き続き海運の利用を促進する。このため、ミャンマーのチャオピュー港のように、地政学的に重要となる場所に、港湾を拠点として整備する必要がある。具体的には、大型コンテナ船が寄港できる大水深バースや貨物鉄道と接続するインターモーダルヤードを整備すること、臨海工業団地の一体整備による物流の効率化を図ることが挙げられる。

2.2.2 内陸における高速鉄道を支えるインフラの整備：大陸域内では、低炭素交通機関として2.1.1で述べた高速鉄道の整備により、旅客・貨物ともに鉄道利用を促進する。特に貨物については、幹線軸となる高速鉄道を在来鉄道や高速道路と接続させ、産業集積とサプライチェーンの再構築を促進することで、さらなる鉄道利用促進を目指す。また、貨物鉄道の効率的運用のためのオペレーション技術の習得教育による定時性・信頼性を確保する取り組みも、輸送機関転換を促進させる上で必要である。

2.2.3 低炭素交通機関利用を促す制度の構築：鉄道・水運といった低炭素交通機関の利用を促進するには、インフラの整備に加え、利用転換を促す制度の構築が有効である。現行の燃料助成金を廃止して国内燃料税や炭素税を導入するだけでなく、各国が連携した国際レベルの新税制の導入が望まれる。

2.3 自動車・航空機の低炭素化 (IMPROVE戦略)

2.3.1 輸送手段の技術改善
2.3.1.1 航空機の軽量化
2.3.1.2 貨物車のディーゼルハイブリッド化
2.3.1.3 電化船舶の開発と導入
2.3.1.4 貨物集配送ターミナルの電化・自動化・合理化・低炭素化
2.3.2 バイオ燃料開発・利用の促進
2.3.2.1 各輸送機関に合わせたバイオ燃料の開発
2.3.2.2 各輸送機関におけるバイオ燃料利用の推進



2.3.3 船舶速度の最適化

2.3.3.1 各種船舶における速度と環境効率の定量評価

2.3.3.2 速度を最適化した船舶運用

2.3.1 輸送手段の技術改善：物流や業務交通において自動車や航空機は必要である。これら輸送手段の技術改善により、低炭素化が図られる。この例として、航空機における軽量化やエンジン性能の改善、貨物車のディーゼルハイブリッド化、船舶における電化に向けた技術開発がある。貨物ターミナルでの集配送においても、技術革新による無人搬送車（AGV：Automated Guided Vehicles）の高度化、ITを活用したクロスドッキングの推進といった電化・自動化・合理化を進め、太陽光発電・洋上発電を併用することで、ターミナルの低炭素化を

図る取り組みが期待される。

2.3.2 バイオ燃料開発・利用の促進：化石燃料を使用する輸送については、バイオ燃料への代替が有効である。バイオ燃料の利用に向けた技術開発とともに、バイオ燃料そのものの技術開発も進められ、既存の化石燃料と変わらない性能が得られる燃料の普及が期待される。

2.3.3 船舶速度の最適化：貨物輸送に関しては、環境効率の最適化を図るために、様々な種類の船舶の速度と環境効率の最適化を評価する分析や、最適な船舶の運用に向けた様々な教育（特に荷主における理解の醸成）を行うことで、最適な速度での運用が促進される。

大メコン圏(GMS)におけるサプライチェーンの効率化と低炭素化

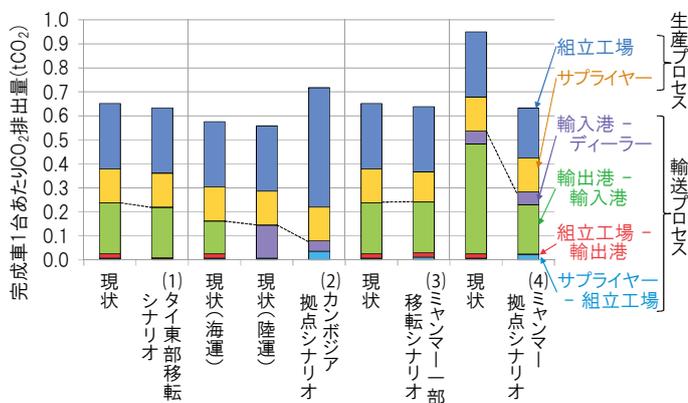
交通には人の動き（旅客）と物の動き（貨物）がある。賃金が比較的低廉な大メコン圏（GMS）では製造業の工場が進出し続けており、今後も貨物交通の急増が見込まれることから、ここでは貨物交通に着目し、GMSの低炭素化方策を考えるための定量的な研究を行った。

貨物交通は完成品の輸送で発生するだけでなく、製造段階でも、部品を供給する工場（サプライヤー）間や組立工場との間でも発生する。そこで、製造段階のサプライチェーンの拠点立地条件の違いによる、将来のCO₂排出量の変化を分析した。ここでは、部品数が多く、その分サプライヤー数も多い自動車製造業に着目し、まず立地現況を調べた。サプライヤーはアジア各地に分散立地しており、日本国内で生産された場合の約1.4倍のCO₂が排出されていることがわかった。さらに、GMS諸国の今後の経済成長や自動車需要の増加、賃金や投資費用を考慮して、将来のサプライチェーンの拠点立地シナリオを構築し、CO₂排出量の変化を分析した（左図）。その結果、インド市場を狙った(4)ミャンマー拠点シナリオでは海上輸送における排出量が大幅に減少し、ミャンマーでの電力排出原単位の小ささゆえに生産における排出量も減少するため、全体で約34%減少する結果となった。

また、GMSに新たに貨物鉄道が導入された場合、どの程度の割合を鉄道で輸送すればCO₂排出量を目標値まで削減できるのか、時間と費用も考慮して分析を行った。バンコクーハノイとバンコクーヤンゴンの2つの路線をケーススタディとし、既存輸送機関の改善と貨物鉄道新規建設の2つの開発シナリオと、排出量と費用および時間の削減目標値を設定し、最適な機関分担率を算出した。その結果、バンコクーヤンゴン路線では輸送距離が著しく長いために海上輸送の優位性が低く、トラック輸送や鉄道輸送の分担率が相対的に高いこと（右図）、また両路線ともに時間短縮と排出量削減を同時に目指す場合には高い鉄道輸送の分担率が望ましいことが示された。（花岡伸也）

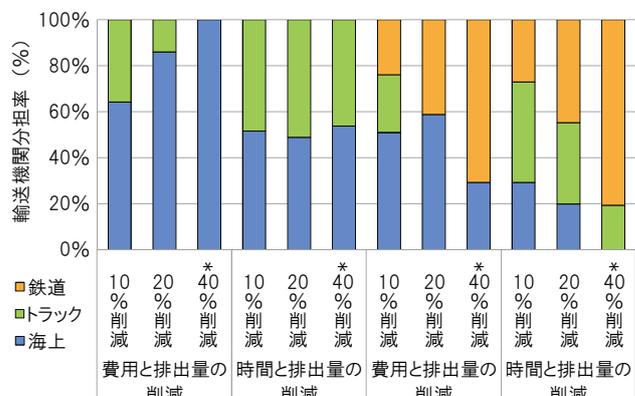
参考文献

- 中道久美子、花岡伸也、川原優輝：自動車製造業の立地を考慮したグローバルサプライチェーンにおけるCO₂排出量の推計、土木計画学研究・講演集、No.47、2013.6
- 花岡伸也、加藤智明、中道久美子：大メコン圏の地域間貨物輸送における環境を考慮した機関分担率の算出、土木計画学研究・講演集、No.48、2013.11



中道・花岡・川原 (2013)

サプライチェーンの拠点立地シナリオによるCO₂排出量の変化



*費用は25%削減、時間は35%削減 既存モード改善のみ

貨物鉄道導入

花岡・加藤・中道 (2013)

削減レベル達成のための目標輸送機関分担率 (バンコクーヤンゴンルートの場合)



方策3

資源の価値を 最大限に引き出すモノ使い

概要

アジア各国における社会基盤の整備、耐久消費財の普及、消費財の消費拡大により、鉄やセメントをはじめとした様々な素材の利用量が増大し、それに付随する天然資源を採取し、加工して素材とするまでの温室効果ガス排出量も増加していくと予想される。このような素材生産に伴う温室効果ガス排出量が、総排出量に占める割合は小さくない。一方、太陽光発電、風力発電、燃料電池、蓄電池などの温暖化対策技術の急速な普及によって、これらの技術に用いられる資源が不足する可能性もある。

したがって、こうした資源を効率的に利用することが、温室効果ガスの大幅削減には不可欠である。このためには、資源利用そのものが画期的に少ないものづくりを行って、生産された製品をできるだけ長く使うとともに、副産物や廃棄物を繰り返し利用するシステムを構築することが必要である。同じサービスを提供するにも少ない資源消費量かつ少ない環境負荷量の素材でこれが行えるように、製品の軽量化、炭素排出量の大きい素材の代替、製品の長寿命化を促進する必要がある。また、使用済み製品にあっては、よりクリーンなエネルギーでこれをリサイクルするとともに、リユースを拡大することで資源需要を減らす必要がある。

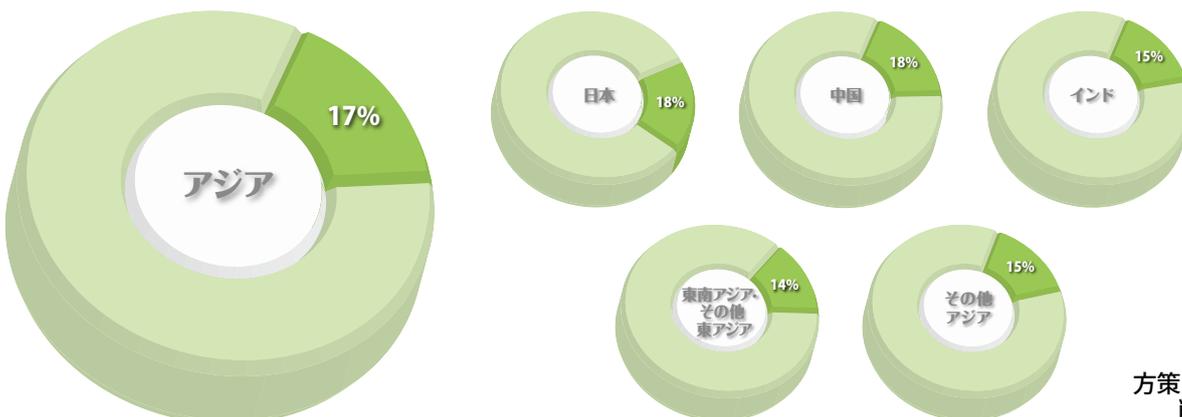
政府においては、中長期的な視野に基づいて低炭素型の都市・国土デザインを行い、長寿命のインフラを建設していくこ

とが肝要である。また、様々な物品についてリサイクル・リユースのシステムを構築して資源の再利用や再資源化を制度的に後押しするだけでなく、資源の効率的利用に関わる研究支援を行っていくことが求められる。

産業においては、より少ない資源消費量かつ少ない環境負荷量の素材で同じ財・サービスの提供が行えるように、それぞれの生産物について軽量化・素材代替や長寿命化を進めるとともに、生産物・廃棄物のリサイクル・リユースに関わる技術システムを開発・採用していくことが必要となる。

市民も、資源利用に伴う温室効果ガス排出量の削減に重要な役割が期待される。具体的には、物質的にはシンプルだが豊かさを感じる生活スタイルを創造、実践していくことである。例えば、ライフステージに合わせて住宅を住み替えつつ、資源消費が少なく長寿命でリサイクル・リユース可能な製品を選択することが期待される。

このような各国での取り組みに加えて、資源の効率的利用に関わる技術開発等の国際研究協力を行っていくとともに、新技術を国際的に普及・展開していくことで、資源利用に関する温室効果ガス排出量の削減がアジアや世界全体で進む。また、貿易で国際的に流通する製品の環境ラベル制度を高度化していくことで、生産者の努力が消費者に対して見える化され、消費者の選好を支援することが可能となる。



方策3による温室効果ガス削減量への貢献度

方策によりアジアはどう変化するか

資源の利用を効率化し、資源需要そのものを画期的に減らすことが、多くの資源を生産・消費する産業部門における温室効果ガスの大幅削減には不可欠である。資源需要を減少させるためには、長期的な都市・国土の展望を踏まえたインフラをデザインするとともに、同じサービスを提供するにも少ない資源消費量かつ少ない環境負荷量の素材で達成できるように、製品の軽量化や素材の代替、製品の長寿命化を促進する必要がある。また、使用済み製品においても、よりクリーンなエネルギーでリサイクルするとともに、リユースを拡大することが資源需要を減らすためには重要である。

「資源の利用を画期的に減らすモノづくり」の方策において、低炭素社会では、産業部門における素材（鉄や非鉄金属、セメントなど）の需要量について、単位生産額あたり必要となる素材の需要量が、2005年から2050年にかけて年率1%ずつ減少するとした。

また、「寿命を長くするモノづかい」や「資源を繰り返し使用するシステムづくり」の方策により、低炭素社会では、

産業の各部門における機械製品需要量について、単位生産額あたり必要となる機械製品需要量が、2005年から2050年にかけて年率2%ずつ減少するとした。また、家庭においては、所得の増加率に対して変化する工業製品の購入量の伸び率が、なりゆき社会のそれより25%少ないと想定した。

このように、素材の投入量が大幅に低下するとともに、機械等の耐久消費財の購入量も低下することで、モノを中心とした活動から、サービスを活用する社会への転換が実現している。その結果、産業部門のエネルギー消費量も大きく変化する。アジア全域では、なりゆき社会での産業部門のエネルギー消費は、石炭を除いてどのエネルギー種も増大し、特にガスの消費量が大幅に高まる。これに対して、低炭素社会では、石炭の減少が加速するとともに、石油、ガスについても2035年以降に減少する傾向となる。代わって、電力やバイオマスの消費量が大幅に増大する。また、低炭素社会における産業部門全体のエネルギー消費量も2050年にはなりゆき社会と比較して9%減少する（図3-1）。

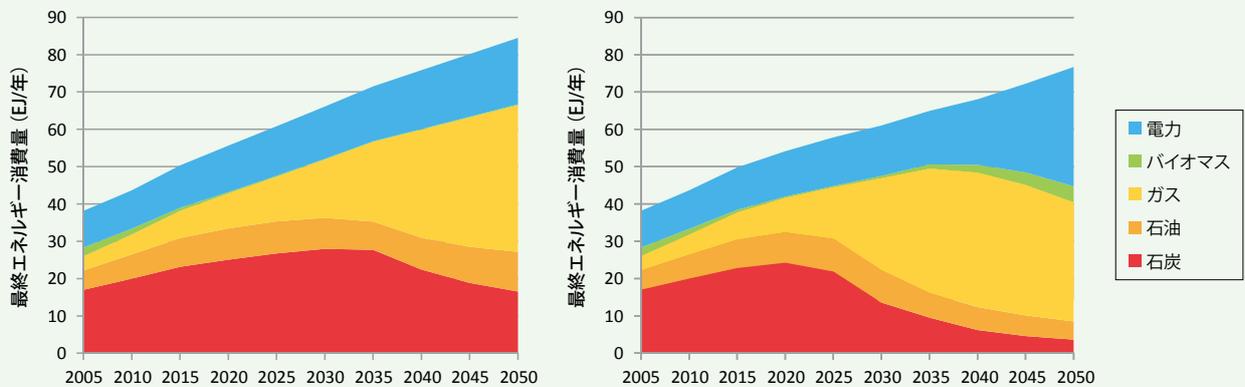


図3-1 なりゆき社会（左）と低炭素社会（右）における産業部門の最終エネルギー消費量の推移

方策の貢献度

2050年の産業部門からの温室効果ガス排出量は、なりゆき社会で6.0GtCO₂-eqとなるが、方策3で示される各対策を実施することにより2.6GtCO₂-eqまで削減することが可能である（図3-2）。

2050年におけるアジア全域の産業部門からの削減量、3.4GtCO₂-eqのうち、日本、中国、インド、東南アジア・その他東アジア、その他アジア（主にインドを除く南アジア）のシェアは、それぞれ、4.8%、57%、16%、14%、7.5%である（図3-3）。

アジア全域での温室効果ガス削減量に対する方策3の貢献度は17%である。各国・地域別に見ると、中国における貢献度はアジア地域の中で日本と並んで最も高く、18%が方策3による削減である。これは、中国ではなりゆき社会では経済成長に伴いインフラ整備が加速し、鉄やセメント等の素材利用が増加するが、低炭素社会では2020年を境にこうした素材の需要が減少に転じるためである。

日本およびその他アジアにおける貢献度は、各々18%と15%であるが、日本が0.16GtCO₂-eq、その他アジアが0.26GtCO₂-eqとその他アジアの方が削減量が多い。その他アジアでは、他地域では貢献度が高い方策6（低炭素エネルギー）の寄与がアジアの平均に比べて18%と小さい。そのため、相対的に産業部門からの削減の貢献度が比較的大きくなる。一方で、インドや東南アジア・その他東アジア地域における貢献度はそれぞれ15%、14%程度とアジアの平均に比べて低い。

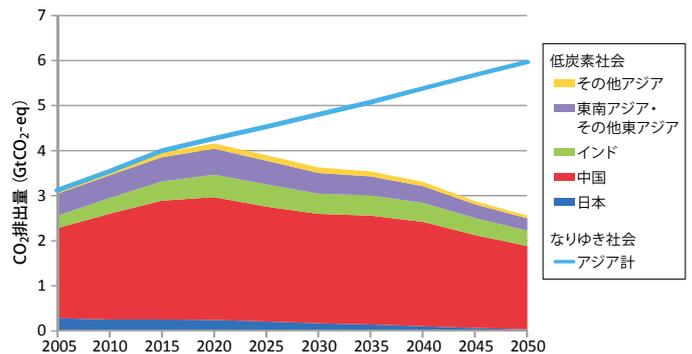


図3-2 産業部門からのCO₂排出量

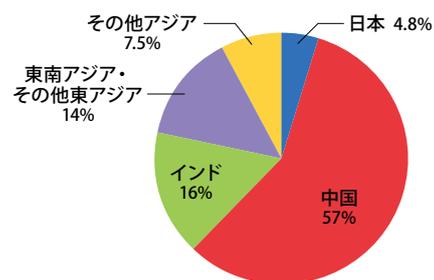


図3-3 2050年の低炭素社会におけるアジアの産業部門の温室効果ガス削減量のうち各国、地域が占める割合



方策の構成要素

方策3は、(1) 資源の利用を画的に減らすモノづくり、(2) 寿命を長くするモノづくり、(3) 資源を繰り返し使用するシステムづくり、の3つの小方策から構成される。

3.1 資源の利用を画的に減らすモノづくり

3.1.1 軽量化・素材代替技術の開発・積極採用
3.1.1.1 技術の研究開発支援
3.1.1.2 技術の普及支援
3.1.2 物質的にはシンプルだが豊かさを感じる生活の創造
3.1.2.1 幸福度指標等の新たな評価指標の活用
3.1.2.2 製品評価制度の普及

3.1.1 軽量化・素材代替技術の開発・積極採用：資源利用を画的に減らすことは、素材生産時の温室効果ガス排出量を大幅に削減するための鍵である。そのためには、現在の生産物の中で各素材が担っている役割を維持しつつ、使用する量を減らすこと（軽量化）、同じ役割を担う別の素材に変更すること（素材代替）などが必要である。しかし、軽量化技術も素材代替技術も、今後さらなる研究開発が必要であり、まずは技術の開発支援が必要である。また、税の軽減や補助金などを通じた技術の普及支援が求められる。この際、ある国で開発された画的な軽量化・素材代替技術をアジアの他の国や世界の他地域で利用することも、世界が低炭素社会に向かうためには重要であり、国際機関等を巻き込んでの技術普及支援が必要である。

3.1.2 物質的にはシンプルだが豊かさを感じる生活の創造：資源利用を減らすためには、需要側での物質消費削減も肝要である。すなわち、物質を消費して豊かさを得る生活から、物質的にはシンプルだが豊かさを感じる生活への転換が求められる。このためには、幸福度指標などの評価指標を新たに策定し、物質的にはシンプルでも幸福度は変わらないか向上することを定量的にも示し、市民がそうしたライフスタイルを選好しやすくする必要がある。また、消費者が生産者の低資源化・低炭素化の取り組みを理解し、製品を選択する際に低資源・低炭素の製品を選好していくことで、生産者の取り組みを後押しすることも必要である。そのためには、製品の資源消費量や環境負荷発生量の評価する制度を構築し、その結果を消費者へ提供する仕組みを作ることが必要である。また、消費者においても、評価結果の意味を理解し、同程度の機能を持つ製品群であれば、より低資源消費、低環境負荷の製品を選好することが求められる。

3.2 寿命を長くするモノづくり

3.2.1 長寿命化技術・メンテナンスシステムの開発・積極採用
3.2.1.1 技術の研究開発支援
3.2.1.2 技術の普及支援
3.2.2 長期的な視野での都市・国土の開発
3.2.2.1 長期的な視野での都市・国土のデザイン
3.2.2.2 長寿命インフラの建設・既存インフラの維持支援
3.2.2.3 公共事業の有効性評価機関の設立・運営
3.2.3 長寿命住宅の建設と住み替え
3.2.3.1 長寿命住宅の建設支援
3.2.3.2 住宅評価制度の普及
3.2.4 資源消費の少ない長寿命でリサイクル・リユース可能な製品の選好

- 3.2.4.1 (3.1.2.2) 製品評価制度の普及
- 3.2.4.2 ポイント制度等のインセンティブの創設

3.2.1 長寿命化技術・メンテナンスシステムの開発・積極採用：資源をインフラや製品にしたのちに、それをできる限り長く使っていくことは、新たな資源投入を減らす有効な手段である。このためには、インフラや製品の寿命をできるかぎり延ばす技術と使用時に適切なメンテナンスを実施する技術を合わせて確立すること、そして、そうした技術を広く社会に普及させていくことが必要である。このような技術システムのさらなる研究開発が必要であり、政府や産業界が共同して支援を進めることが必要である。また、税の軽減や補助金などを通じて、こうした技術システムの普及を支援していくことも重要である。

3.2.2 長期的な視野での都市・国土の開発：炭素排出量の大きい素材を大量に投入して建設するインフラについては、建設したものが無駄にならないように長期的な利用を前提とした計画が必要である（コラム参照）。都市・国土デザインが短期的な視野に基づくものである場合、不要なインフラ投資が行われることによって、結果として高資源消費・高炭素排出の社会にロックインされる可能性がある。そのため、都市・国土デザインの段階においても省資源・低炭素の視点を組み込み、インフラ投資を最小限にとどめ、長寿命で使用していくことを前提とすることが必要となる。また、既存のインフラにおいてもその維持に努め、既に消費された資源を長く使っていくことが必要である。また、インフラに関わる公共事業を、資金の効率性だけでなく資源や炭素の効率性の観点から評価することができれば、政府においてどのような公共事業を実施すべきか等の検討において有用な知見を提供しうる。第三者的に公共事業の有効性を評価する機関を設立することも、低資源かつ低炭素な公共事業を進める上で有効である。

3.2.3 長寿命住宅の建設と住み替え：生活者の観点では、住宅に関わる資源消費と炭素排出が大きいことから、住宅の建設や維持に関する資源消費を減らしていくことが重要である。このためには、住宅の寿命を長くしていくことが必要であるが、その際、変化する居住者のライフステージやライフスタイルに対して柔軟に対応できることが重要となる。これには、主たる構造体を長期的に活用しながら、間取りや設備の変更が容易な構造としておくことが必要であり、このような長寿命住宅の普及を図っていくことが必要である。また、ライフステージやライフスタイルの変化に合わせて、その時々に必要な大きさや間取りの住居に住み替えていくことも、住宅を長期利用する手段となる。賃貸や中古住宅の流通を促進するためには、住宅の価値を適正に評価する制度が必要であり、そのような制度のもとで住宅の価値を高く維持するインセンティブを持たせ、優





良な住宅を長く使っていくことが求められる。

3.2.4 資源消費の少ない長寿命でリサイクル・リユース可能な製品の選好：インフラ・住宅以外の日常的な製品についても、資源消費が少なく、長寿命でリサイクル・リユースが可能な製品を選好することが重要である。そのためには、製品評価制度を通じて、製品の情報を適切に消費者に開示し、選択の際の基準として活用するとともに、低資源・低炭素な製品や、リユース・リサイクルが可能な製品を選択した際にポイントを付与するなどのインセンティブ制度を創設することで、消費者の低資源・低炭素な製品選択を後押しすることが必要である。

3.3 資源を繰り返し使用するシステムづくり

- 3.3.1 リサイクル・リユースの技術システムの開発・積極採用
 - 3.3.1.1 技術の研究開発支援
 - 3.3.1.2 技術の普及支援
- 3.3.2 様々な物品のリサイクル・リユースのシステム構築
 - 3.3.2.1 様々なりサイクル法の制定
 - 3.3.2.2 リユースに関わる制度の構築
- 3.3.3 (3.2.4) 資源消費の少ない長寿命でリサイクル・リユース可能な製品の選好

3.3.1 リサイクル・リユースの技術システムの開発・積極採用：新たなインフラや製品を作る際に、社会にさまざまな形で既に

ストックされている資源をリサイクル・リユースすることは、新規の資源（一次資源）の消費量を削減でき、結果として多くの場合、炭素の排出量も削減することができる。現在でも、さまざまな副産物・廃棄物に対してリサイクル・リユースの技術が確立され、適用がなされているが、対象となる副産物・廃棄物の範囲を拡大すること、より高度なりサイクル・リユースを行っていくこと、既存の技術の効率をさらに向上させることが求められる。そのため、リサイクル・リユース技術に対してさらなる研究開発支援が必要である。また、開発した技術の普及にあたっての支援も不可欠である。この技術の普及支援は、各国内だけではなく、国際機関や政府等の共同により、アジアの他国や世界の他地域へと展開させることで、世界全体が低資源かつ低炭素な社会へと移行する支援となりうる。

3.3.2 様々な物品のリサイクル・リユースのシステム構築：リサイクル・リユースの対象となる副産物・廃棄物を拡大させていくためには、新たな法制度の制定や、既存制度の対象範囲の拡大を図っていくことが必要である。制度の構築が、技術を進展させる点にも留意する必要がある。

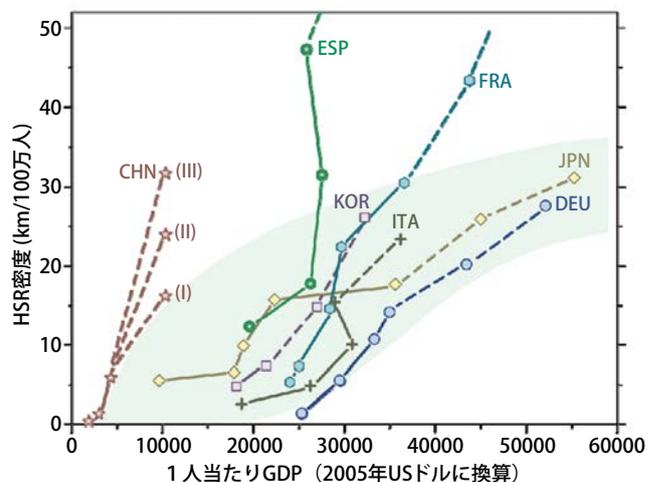
3.3.3 (3.2.4) 資源消費の少ない長寿命でリサイクル・リユース可能な製品の選好：合わせて需要側では、上述したように資源消費の少ない長寿命でリサイクル・リユース可能な製品の選好を促進することが肝要である。

中国の高速鉄道に関する物質フロー分析

中国における高速鉄道ネットワークの建設は、大規模かつ野心的な土木事業の1つである。2012年12月時点で、8,800kmの高速鉄道路線が完成しているが、これは世界の高速鉄道路線総延長の40%を占める。現在、35の路線が建設中であり、さらに30程度の路線が計画されている。図は、各国の1人あたりGDPと高速鉄道（HSR）の密度を示したものであるが、2030年までの中国の高速鉄道の拡張について、3つのシナリオを想定し物質フロー分析を行った。

中国の高速鉄道路線の約70%は、高架もしくはトンネルとなっており、多くの資源を利用する構造となっている。2030年までのシナリオによって、総計83~137Mtの鉄鋼材、560~920Mtのセメントが必要となる。この量は中国全体の資源消費量を直接大幅に引き上げるものではないが、多くの鉄鋼材やセメントを必要とする構造体は、自動車や航空機に

対する高速鉄道の環境上の優位性を押し下げることになる。欧州や米国においては高架やトンネルの比率が30%以下であるが、それでも、鉄道インフラの建設に関わる温室効果ガスの排出量を鉄道による輸送で回避された温室効果ガスの排出量で埋め合わせるには、20年程度かかる可能性がある。この埋め合わせは、各国の主たる交通手段や電源構成に依存するが、中国において石炭火力の比率が高いままで推移する場合、我々の研究では20~30年の時間がかかる可能性が示唆されている。（Tao Wang）



各国の1人あたりGDPと高速鉄道（HSR）の密度
 ※中国（CHN）、日本（JPN）、韓国（KOR）、フランス（FRA）、ドイツ（DEU）、イタリア（ITA）、スペイン（ESP）
 ※実線は過去の実績、破線は今後の計画もしくはシナリオ



方策4

光と風を活かす 省エネ涼空間



概要

アジアは熱帯・亜熱帯に位置する国が多く、民生部門（家庭・業務）における冷房需要は通年的に生じており、現状においても世界の他国と比較して高い水準にある。また、温帯や亜寒帯に属する国々では、冷房需要に加えて、暖房需要も増え続けている。今後の人口増加と経済発展に伴い、一段とそれらの需要の増加が予想されており、冷暖房サービスへの対応は、民生部門を低炭素化するためには重要な施策である。さらに、今後家電機器や業務用機器の普及率が大幅に増加していくことが予想されていることも加味すると、冷暖房サービス以外のエネルギー消費量の増加を下げる方法を検討することも併せて重要となってくる。

増加する冷暖房需要に対し、その地域の気候の特徴に応じて地域の風の通り道を作ったり、日射を考慮した建築物デザインにすることで、自然エネルギーを利用した冷暖房サービス需要そのものを抑えることができる。また、アジアの風土にあった建築物のエネルギー性能の評価基準を気候ゾーンごとに標準化することが重要である。

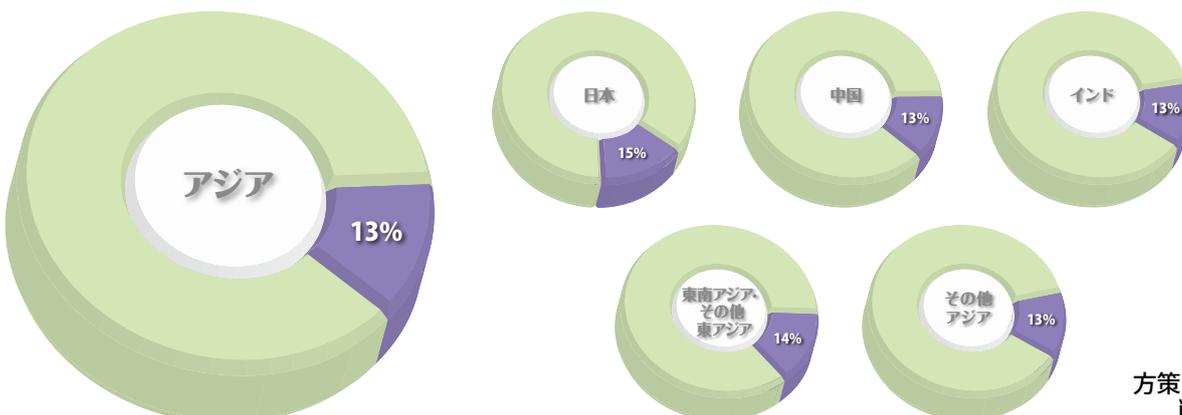
同時に、冷暖房機器や家電機器について省エネ型製品の普及を促進するために、価格競争力が高まるような支援制度（補助金や低金利ローンなど）を導入することも効果的であろう。省エネ型製品が普及すれば同じサービスを少ないエネルギーで供

給できるようになり、エネルギーサービス需要が増加したとしても、エネルギー消費量を削減することが可能になる。

民生部門において低炭素化への取り組みを促進するためには、金銭的インセンティブだけでなく、人々の価値観や選好に働きかける対策も考えられる。各世帯や各事業所における低炭素化への取り組みを適切に評価し、先進的な取り組みをした世帯や事業所はベストプラクティスとして取り上げ、表彰することによって、低炭素型の取り組みを後押しすることができる。

そのためには、各主体の努力を客観的に評価できる仕組みが必要となる。第三者機関の評価を通じた努力の見える化は、直接には温室効果ガス削減に貢献しないものの、各主体の継続的かつ自主的な努力を引き出す上で非常に重要な対策である。

これらの対策を進めるために、政府には既存の基準および規制を見直し、地域の条件に合わせた省エネルギー型の建築物や機器の普及を促進する制度を創設することが求められる。適切な制度の創設により産業界における省エネ技術の開発や普及を促すことができる。市民は、建物の新築・リフォームの際や機器の買い替えのタイミングで、省エネルギー効果の高い製品を選択することで、産業界に省エネルギー型の建築物や機器が求められていることを伝えることも、地道な積み重ねではあるが重要な取り組みの一つとなるであろう。



方策4による温室効果ガス削減量への貢献度

方策によりアジアはどう変化するか

アジアの成長発展に伴い、民生部門におけるエネルギーサービス需要はさらに増加すると見込まれる。低炭素社会に向けた政策を実行することで、大幅なエネルギー消費量およびCO₂排出量の低減が見込まれる。方策4に関する主な施策は、建物の省エネ化、省エネ機器の開発と普及、これらを後押しするCO₂排出量の見える化である。

低炭素社会においては、太陽光や自然風を建築物内に取り込むパッシブデザイン設計など、それぞれの地域風土に合わせた建築技術やデザインが広く普及することが必要である。また、断熱技術・日射遮蔽技術・自然通風技術などの個別の技術レベルも向上し、住宅・建築物内の快適性を維持しつつエネルギー消費量の削減が可能となる。

エアコンを含む家電機器・業務機器のエネルギー効率は大幅に向上している。利用者も機器の特性を踏まえて適切に使用しているため、少ないエネルギーを有効利用しつつも、十分な快適性が確保されている。また、国際標準化された建築物や地域の環境性能基準により、建築物の省エネ努力が見える化されており、省エネ努力を後押ししている。

これらの想定を踏まえ、低炭素社会では、家庭における冷暖房需要を2005年から2050年まで年率1%ずつ減少とした。また民生部門で使用する家電機器・業務機器のエネルギー効率が、なりゆき社会と比較して年率0.5%ずつ追加で改善されるとした。

低炭素社会においては、新築・改築時における住宅の環境性能（エネルギー消費量やCO₂排出量）認証結果に応じた固定資産税やローン借入金利の減免措置が一般化し、環境性能の高い住宅建築・購入へのインセンティブとなる。既設住宅では住宅性能コンサルタントのアドバイスを安価で受けられるようになり、環境性能向上に向けた改築の提案などに加え、省エネ住宅に対して、改築費用の割引制度やローン借入金利の優遇が受けられるようになるなど、住宅の環境性能の高さを社会全体で高く評価する制度や仕組みが整う。このため、環境に特に注意を払わない市民でも、環境性能の優れた住宅を選好するようになる。

また、各地域それぞれの気候を活かした建築デザインと最先端の機器を融合させることができるような設計者・建築家が各地に育成され、そのノウハウは次世代へと引き継がれる。また、200年住宅などの長寿命型建築物も広く浸透し、無駄な資源・エネルギーの消費は抑制される。

この結果、民生部門における最終エネルギー需要は、なりゆき社会では2005年から2050年までにアジア全域で132%増加しているのに対して、低炭素社会では2030年頃をピークに減少する。また、エネルギー種についても、なりゆき社会では石油の需要は大幅に増加するが、低炭素社会では石油の消費量は2030年以降に減少し、電力のシェアが大幅に増大する（図4-1）。

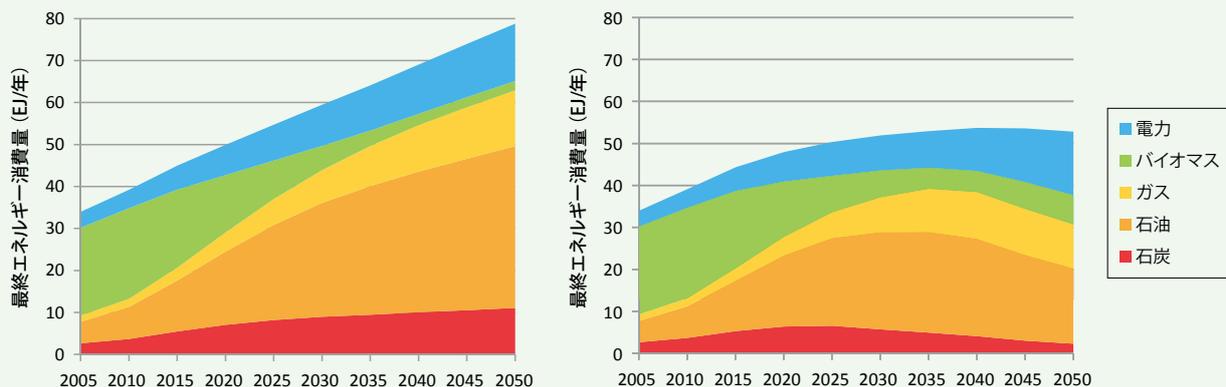


図4-1 なりゆき社会（左）と低炭素社会（右）における民生部門の最終エネルギー消費量の推移

方策の貢献度

なりゆき社会においては、2050年の民生部門からの温室効果ガス排出量はエネルギー部門、産業部門について大きく、約5.4GtCO₂-eqと推計される。これは、2005年の民生部門からの排出量の5.5倍に相当する。方策4を実施することによって、低炭素社会でのアジア全域における民生部門からの温室効果ガス排出量を約2.8GtCO₂-eqにまで削減可能である。これは、なりゆき社会の51%であり、2005年の排出量の2.8倍である。

アジア全域での温室効果ガス削減量に対する方策4の貢献度は13%であるが、日本では15%、東南アジア・その他東アジア地域は14%と、アジアの平均と比較して大きい。中国、インド及びその他アジア（主にインドを除く南アジア）では、それぞれ13%である。

日本の民生部門の温室効果ガス排出量は2005年にはアジアの約22%を占めていたが、低炭素社会の2050年には5.1%と大幅に減少している。2050年のなりゆき社会での排出量は2005年に比較して1.3倍であるが、低炭素社会では0.66倍に減少し

ている。

中国における民生部門からの温室効果ガス排出量について、中国全体の排出量に対するシェアは、2005年に5.4%と小さいが、なりゆき社会では、経済成長に伴うエネルギーサービス需要の増大によって、2050年までに民生部門における排出量は6.0倍に増加し、中国全体からの排出量に占める民生部門のシェアも17%に増大する。アジア全体の民生部門における温室効果ガス排出量のうち、中国は2005年に43%を占めているが、なりゆき社会では2050年にその比率は48%まで上昇する。一方、低炭素社会では、2005年から2050年までの民生部門からの排出量は2.9倍の増加にとどまるが、中国全体からの排出量も抑えられるために、2050年に中国全体に対する民生部門からの排出シェアは26%とさらに増大する。アジア全体の民生部門からの排出量に占める中国のシェアは2050年に45%に増大する。低炭素社会実現の方向に進むことにより、高炭素インフラにロックインされることを回避し、民生部門からの温室効果ガス排出量を削減することが可能となることを示している。



方策の構成要素

方策4は、(1) 建物の高断熱化による省エネ涼空間の創出、(2) 省エネ機器導入のインセンティブ創設、(3) 第三者機関の評価を通じた努力の見える化、の3つの小方策から構成される。

4.1 建物の高断熱化による省エネ涼空間の創出

- 4.1.1 建物省エネ基準の策定と新築・改築時の遵守義務化
 - 4.1.1.1 地域ごとの省エネ性能評価基準の策定と段階的義務化
 - 4.1.1.2 各国の事情に適した省エネ建築物のデモンストラティブプロジェクトの実施
- 4.1.2 自然エネルギーを最大限に利用した快適空間の創出
 - 4.1.2.1 各国に適した自然通風や自然光利用デザインの確立
 - 4.1.2.2 住宅向け再生可能エネルギー設備の導入促進
- 4.1.3 建物の環境性能向上に向けた財政支援制度の創設
 - 4.1.3.1 新築・改築における断熱強化への支援
 - 4.1.3.2 環境性能の高い建築物へのインセンティブの創設
 - 4.1.3.3 国際機関等の財政支援による新築・改築時の環境性能向上プログラムの実施

4.1.1 建物省エネ基準の策定と新築・改築時の遵守義務化：大規模建築物のなかには、壁の断熱性能が低く、外壁や窓等からの熱吸収により空調システムに負荷をかけ、結果として冷暖房需要の増大につながっているものがある。建築物のエネルギー需要を抑え、CO₂を削減していくためには、エネルギー効率や空調負荷、気密性の基準を設けることで、建築物の設計・建設段階から省エネ涼空間を創出するようにすることが必要である。あわせて、省エネ基準が適切に施行・遵守されていくメカニズムを構築していく必要がある。また、パイロットプロジェクトとして各国の省エネ基準に適した建物を建築し、一般市民が実際に体験できる施設とすることで、その快適性やメリットについての理解を促進し、その普及に貢献することができる。

4.1.2 自然エネルギーを最大限に利用した快適空間の創出：建築物の設計・構造時に、外気状況に合わせて温度と湿度のバランスを保つ設備や、自然通風を取り入れる空間を設計に取り入れることも、冷暖房需要の削減に高い効果を発揮する。通風の工夫に加え、採光も工夫することで、窓からの日射熱の入り込みを削減でき、壁からの熱吸収も減らせ、冷暖房需要の削減へつながる対策である。また、この対策は建築物全体での対応が必要な高断熱化対策を補完し、断熱強化への投資を緩和することも期待できる。

また、自然エネルギーを直接エネルギーとして利用する太陽光発電設備や風力発電設備の導入も、直接には冷暖房需要の削減に貢献はしないが、化石燃料消費量および温室効果ガス削減の観点では有効な対策である。

4.1.3 建物の環境性能向上に向けた財政支援制度の創設：環境性能の高い建築物は、設計や建築に際しての費用が高額であることが多く、補助金や減税等の財政支援制度は、建築主にとって重要なインセンティブとなる。そのため、各国が独自に新築・改築時の断熱強化や省エネ機器の導入、あるいは太陽光発電、風力発電の設置に対して補助金を支給して導入時の財政負担を軽減することは重要であり、環境性能の評価結果に応じて固定資産税等の減税措置を講じることも有効である。また、国際機関による財政的支援も、アジアの建築物が全体として低炭素な方向に向かうためには重要な対策といえる。

4.2 省エネ機器導入のインセンティブ創設

- 4.2.1 エネルギー機器の効率向上の促進
 - 4.2.1.1 機器に対するエネルギー性能評価基準の策定
 - 4.2.1.2 トップランナープログラムの導入
 - 4.2.1.3 省エネ技術の開発・技術移転促進
- 4.2.2 省エネ機器の総合的評価システムの開発・普及
 - 4.2.2.1 センサーやITを活用した建築物全体でのエネルギー管理システムの開発・普及
 - 4.2.2.2 省エネ機器導入プラン作成のための補助制度の創設
- 4.2.3 省エネ機器導入に向けた財政支援制度の創設
 - 4.2.3.1 エネルギー性能評価基準に基づく支援制度の創設
 - 4.2.3.2 国際機関等の財政支援による省エネ機器導入プログラムの実施

4.2.1 エネルギー機器の効率向上の促進：省エネ機器が有効に使われるためには、どの機器が省エネであるかを消費者が適切に判断できる仕組みが必要となる。機器のエネルギー性能評価基準を設定し、機器メーカーにそれを遵守させることは、消費者への省エネ性能情報の周知を促し、省エネ機器導入を後押しすることにつながる。エネルギー性能評価基準は定期的なレビューを行い、技術開発に応じて基準を定期的に更新していくことが望ましい。日本で導入されているトップランナー制度は、機器の省エネ性能向上に有効な対策のひとつとして機能してきた。その経験を踏まえつつ、アジア各国の実情にあったプログラムを導入することで省エネ機器の導入を促進する。また、ある国で優れた省エネ機器が開発された際には、アジア各国へ輸出・普及させるだけでなく、そのような機器を現地で生産・普及させることで、アジア地域におけるグリーン成長の原動力とすることができる。

4.2.2 省エネ機器の総合的評価システムの開発・普及：個別の機器の省エネ化と同様にシステム全体の運用方法の工夫による省エネ対策も重要である。例えば、ITを活用して、大規模建築物や複数テナントの空調を制御したり、エネルギーの一元管理を行うビルエネルギー管理システムを導入することなどが効果的である。気候条件や使い方などによって建築物ごとに効果的な省エネ対策は異なることから、個々の建築物の実情に合わせた省エネ機器導入プランを策定し、実施することが肝要である。そのためのプランづくりに対しての補助制度も、間接的に省エネ機器の導入促進に効果がある。

4.2.3 省エネ機器導入に向けた財政支援制度の創設：各機器の省エネ性能を客観的に比較できるエネルギー性能評価基準に基づいて適切な財政支援が実施されることが肝要である。そのためには、省エネ性能ラベリングと税制優遇を組み合わせるなど、評価指標と財政支援制度を組み合わせたパッケージとして整備していくことが望ましい。また、国際機関等の財政支援による省エネ機器導入プログラムの実施も重要である。

4.3 第三者機関の評価を通じた努力の見える化

- 4.3.1 省エネ努力の評価システムの構築と運用
 - 4.3.1.1 建築物に対するエネルギー監査制度の義務化
 - 4.3.1.2 アジア共通の省エネ基準の創設
- 4.3.2 省エネ努力の見える化結果に基づくインセンティブ制度の創設
 - 4.3.2.1 開示情報や評価結果に基づく表彰制度の創設と運用
 - 4.3.2.2 省エネ技術情報の一覧システムの運用



4.3.3 省エネ活動に関する教育と知識共有の促進

4.3.3.1 ステークホルダーに対する省エネ評価システムの情報提供プログラムの創設

4.3.3.2 省エネルギーに関する情報の広報の強化と教育の促進

4.3.1 省エネ努力の評価システムの構築と運用：運用面での省エネ努力も大切な要素であるが、エネルギー使用量やコストを“見える化”することで、無駄なエネルギー消費を抑制することができ、かつ継続的な低炭素化努力を後押しできる。見える化による努力の相互比較のためには、まずデータが実態を反映していることが重要である。そのために、建築物のエネルギー消費量やコストについての監査制度を創設、義務化し、公表されている各種データの正確性を裏付けることが必要となる。

さらに、省エネ基準は各国ごとに創設・運用されているが、これをアジア共通の基準へ拡張することで、省エネ機器の技術水準をより適切に評価でき、低炭素社会に役立つ省エネ機器の導入を促進することが可能となる。

4.3.2 省エネ努力の見える化結果に基づくインセンティブ制度の創設：見える化により、産業や市民などの各主体が実施している努力が比較可能な形で明確化される。この結果に基づき、高い努力を払った主体に対して報奨金や税制優遇などの制度を創設することにより、省エネ努力をより促進することが可能となる。

このインセンティブを有効に機能させるためには、さまざまな省エネ技術についての情報を一覧できるシステムを作成・運用し、今後省エネ対策を実施する主体が情報を入手しやすくする環境整備を進めることが必要となる。

4.3.3 省エネ活動に関する教育と知識共有の促進：省エネ建築物に関する規制や省エネ機器導入へのインセンティブが導入されたとしても、産業や市民、政府といった各主体がその意義と理由を十分理解していなければ、十分な効果が期待できない。このため、企業や市民の現在の取り組みを評価するとともに無理のない効果的な改善点をアドバイスしてくれるスペシャリストを派遣する制度など、継続的に市民が学習し、改善努力を行うための知識共有の仕組み作りが求められる。

バングラデシュの農村電化と太陽光発電

バングラデシュの電力事情は非常に厳しく、例えば都市部の電化率は82%程度であるのに対し、農村部の電化率は33%にとどまり、8,780万人の住民が電力供給を得られていない(IEA 2012 *World Energy Outlook 2012*)。通常電化を進めるためには、送電線・変電所・発電所といったインフラの整備が必要である。しかし途上国農村部、とりわけ遠隔地や人口密度の希薄な地域では、投資効率が低く電化が進みにくい。

これら非電化地域で電化を促進するためのセカンドベストの対応として、初期導入費用が安く、なお且つ大掛かりなインフラ整備費用が不要な、太陽光発電を利用した分散型農村電化事業に注目が集まっている。通常数10~130Wの太陽光電池パネル・充電用バッテリー・電灯・その他付属品で構成される家庭用太陽光発電システム(SHS: Solar Home System)と呼ばれるパッケージを、住民世帯に販売・貸与することで電化を図る。SHSは発電量が天候条件に左右されるものの、電灯や白黒テレビといった比較的電力消費量が少ない家電製品を利用することができる。

これまで筆者らは大規模な援助や補助金に頼らない民間主導で成功を収めてきたバングラデシュにおけるSHSの急速な普及に着目し、住民調査・

専門家会議・ヒヤリング調査を通じた分析を実施してきた。Komatsu et al. (2011a) ではSHSを導入した世帯が、灯油購入費用の大幅削減、充電バッテリー(主に車に利用されているバッテリーで白黒テレビや電灯に利用)を利用しなくなることにより、エネルギー関連費用を大幅に削減できたことが明らかになった。加えて電灯利用によって、書籍や新聞の購読、子供の勉強時間の延長、家庭内労働時

間の延長、といった効果を示す世帯も多く見られた。併せてテレビ所有世帯ではニュースや娯楽番組の視聴、携帯電話所有世帯では自宅での充電、といった便益も確認されている。住民からは消費電力が多いものの、暑さをしのぐのには欠かせない扇風機を利用したいとの意向が多く聞かれており(写真参照)、今後扇風機が利用可能になるほど充分な発電量が確保できれば、SHSの需要は大きく増すものと思われる。

Komatsu et al. (in press) ではSHS導入世帯に対して満足度調査を実施した結果を分析し、SHSのバッテリーの故障頻度低下や灯油消費量の節減、子供の勉強時間の延長といった要因が満足度の向上に寄与することが分かった。更にKomatsu et al. (2011b) からは、SHSの導入確率の高い世帯の特徴として、世帯収入が多く、充電バッテリーを所持し、灯油利用量が多く、更に携帯電話を多く持つ世帯であることが示された。

Kaneko et al. (2012) では、農村電化の制度的位置付けや、電化に係る汚職や汚職防止メカニズム、更に都市の電気事業者と比較した農村電化組合の事業効率性などの農村電化組合設立による電化地域拡大の成功要因を論じるとともに、SHSの急速な普及の背景としての最近の課題を明らかにした。更に送電線網整備による電化と、SHSをはじめとする分散型電化に対する援助機関の取り組みの差異を議論した上で、SHSの価格を大幅に削減するための試みとして、先進国の新技術を途上国の場で応用することを通じた、新たな技術協力の枠組みを提案した。(小松悟)

参考文献

S. Komatsu et al. (2011a) *Energy Policy*, 39(7), pp.4022-4031. S. Komatsu et al. (2011b) *Energy for Sustainable Development*, 15(3), pp.284-292. S. Komatsu et al. *Energy* (in press). S. Kaneko et al. (2012) *Climate Change Mitigation and International Development Cooperation*, Fujikura and Toyota (eds.), Routledge, Chapter10, pp.202-226.



バングラデシュ農村部にて扇風機を利用する男性(2010年9月撮影)



方策5

バイオマス資源の地産地消



概要

バイオマスは、住宅内の調理や暖房のために熱を利用するだけでなく、発電所などの大規模設備でも利用可能であり、地域のエネルギー供給システム全体の低炭素化には重要な役割を演じることになる。しかし、利用拡大にはいくつか課題がある。

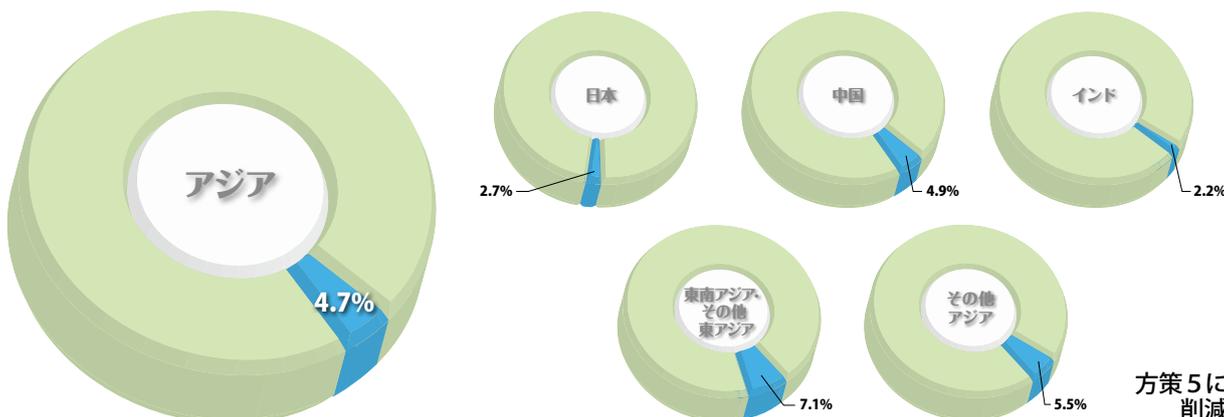
バイオマスの生産、特にエネルギー作物の利用拡大は、食糧生産や森林面積減少を引き起こすため、これらが競合しないような土地利用規制が必要となる。また、太陽光など他の再生可能エネルギー資源と比較して重量も大きく、輸送方法も課題のひとつである。加えて、アジア地域においてはバイオマスによる調理は煤煙等による健康被害の要因となっていることから、利用時の住環境レベル改善も重要な課題となっている。

克服すべき課題は多いが、アジア地域が低炭素社会に向かうためには、バイオマス資源の利用が大きく鍵を握っている。そのためには、食糧生産や森林保全と競合しないバイオマスの持続的生産・利用システムの確立とともに、地域資源を活かした農村の自立的エネルギー供給システムの確立が必要である。バイオマス資源賦存量の多い農村部を中心に、地域内の木質系バイオマスや廃棄物、動物系バイオマス資源を活用して地域内のエネルギー需要を賄う自立的エネルギー供給システムを確立することは、低炭素社会に向かうと同時にエネルギーアクセスの改善と住環境水準改善も期待できる重要な対策となる。

これを実現するためには、政府はエネルギー作物の過度の作付けにより食糧生産のための土地が不足することのないよう、バイオマス生産と食糧生産を両立する適切な土地利用規制を実施するとともに、特に途上国において創設されている化石燃料への補助金を段階的に廃止してバイオマスエネルギーの価格競争力を高めていくことが求められる。市民も、政府と協働して持続的な土地利用規制実施に協力すると共に、特に森林系バイオマスの収穫量をコントロールし、持続的な森林管理へ協力することが求められる。産業界、特に農林水産業においては、品種改良等により生産性の高いバイオマス作物を開発することで、食糧生産と競合しないバイオマス生産を後押しすることができる。

このような各国・地域での対策に加えて、国際的にバイオマスエネルギーやその利用技術の研究開発支援と、成功事例を技術移転プログラム等によって他地域へ移転したり、先進的なバイオマス利用技術の導入と利用に対してクレジットを設定したりすることで普及を後押しすることが可能である。

住環境レベルの改善については、特に産業界において高効率かまどの技術開発と低価格化を進めると同時に、政府による高効率かまどをはじめとした高度バイオマス技術の普及支援が求められる。



方策5による温室効果ガス削減量への貢献度

方策によりアジアはどう変化するか

バイオマスを効率的に利用して低炭素社会を構築していくためには、技術の普及だけでなくバイオマスの生産・収集・消費までを含めたシステム全体を設計、実現していく必要がある。そのため、高効率かまどなど現在でも取り組みが可能な技術の導入・普及から開始し、バイオマスボイラーやメタン発酵などの先進的なバイオマス利用技術への転換を進めていくことが求められる。

方策5を実施することによって、農村部では地域に存在するバイオマス資源を活用したエネルギーシステムが導入されるとともに、都市部では輸送用バイオ燃料の拡大などが進む。その結果、2050年のアジア全体の低炭素社会では、一次エネルギー供給量のうちバイオマスエネルギーの供給量は、なりゆき社会に対して6.8倍増大する結果となり、一次エネルギー

供給量に対して19%を占めるようになる。これは、2005年(24EJ)と比較すると2.2倍である。特に、2030年以降におけるバイオマスエネルギーの伸びが著しい。一方で化石燃料の消費量は2025年以降に減少し、なりゆき社会では、化石燃料のシェアは2050年に88%を占めているのに対して、低炭素社会では52%に減少している(図5-1)。バイオマスエネルギー生産に用いられる土地面積は、なりゆき社会では6.4Mhaであるが、低炭素社会では51Mhaと8.0倍となり、特に中国における伸びが著しい(図5-2)。なお、低炭素社会におけるバイオマスエネルギー生産のために必要な面積は、2050年でもアジア全域(2,122Mha)の面積の2.4%である。モデルでは土地利用における食料生産との競争を考慮しており、バイオマス資源の供給量は食料供給の確保を前提としている。

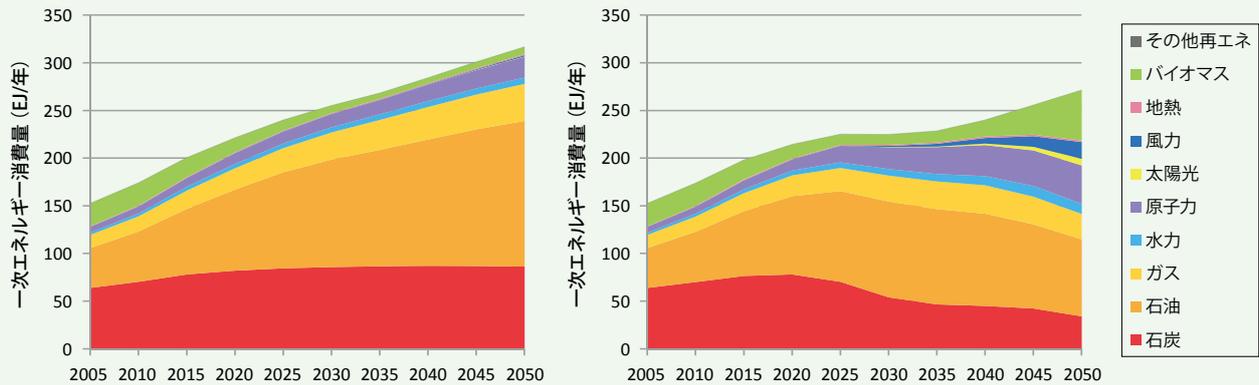


図5-1 なりゆき社会(左)と低炭素社会(右)における一次エネルギー消費量の推移

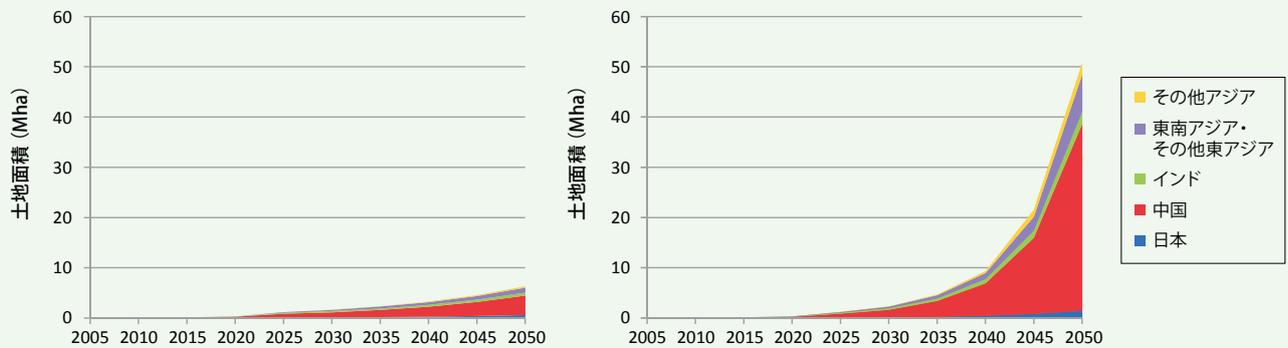


図5-2 なりゆき社会(左)と低炭素社会(右)におけるバイオマスエネルギー生産用土地面積の推移

方策の貢献度

方策5による温室効果ガス削減量は、アジア全域で0.94GtCO₂-eqである。そのうち、日本、中国、インド、東南アジア・その他東アジア、その他アジア(主にインドを除く南アジア)のシェアは、それぞれ、2.5%、55%、8.1%、25%、9.8%であり、中国での削減量が0.52GtCO₂-eqと最も大きい(図5-3)。

アジア全域での温室効果ガス削減量に対する方策5の貢献度は4.7%である。各国・地域別に見ると、インドにおける全削減に占める方策5の貢献度は2.2%でアジアの国・地域の中で最も低い。インドは現状で農耕地が約60%を占め、現状において森林でなくかつ使われていない土地はほとんどない上に、将来の人口増加、所得増加で、食料需要は2倍近くになると予想されているためである。バイオマスの需要は高まるが、厳しい土地制約があり、バイオマス資源の利用拡大には困難のあることが推察される。一方、東南アジア・その他東アジアにお

る貢献度は7.1%と、アジア地域の中では最も高い。その他アジア地域においても、貢献度が5.5%と高くなっている。

日本では全削減に占める方策5の貢献度は2.7%となり、インドについて低い値である。

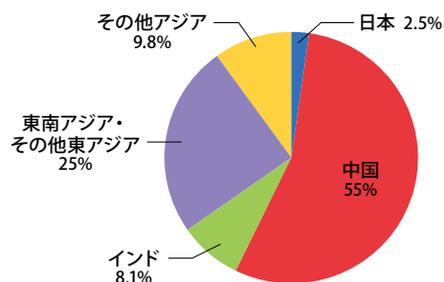


図5-3 2050年の低炭素社会におけるアジアのバイオマス対策による温室効果ガス削減量のうち各国、地域が占める割合



方策の構成要素

方策5は、(1) 食糧生産と競合しないバイオマスの持続的利用、(2) 地域資源を活かした農村の自立的エネルギー供給システムの確立、(3) バイオマスの高度利用による住環境レベルの改善、の3つの小方策から構成される。

5.1 食糧生産と競合しないバイオマスの持続的利用

5.1.1	バイオマス生産技術の改良
5.1.1.1	未利用バイオマス資源の生産技術の開発
5.1.1.2	持続可能なバイオマス利用のビジネスモデルの開発と農業・林業の振興
5.1.2	持続可能なバイオマス生産に向けた土地利用
5.1.2.1	食糧生産とバイオマス生産の競合を解決するための土地利用規制の設定
5.1.2.2	持続可能な森林管理・農地管理とバイオマス生産への理解
5.1.3	バイオマスCCSの技術開発と導入
5.1.3.1	バイオマスCCSの技術開発
5.1.3.2	バイオマスCCSの導入

バイオマスは、短期間に過度に多くの資源を利用すると生産量が使用量を超え、結果として環境に負の影響を及ぼすこともある。また、エネルギー作物のように農地で生産するバイオマスは、食糧生産との競合が起こりうる。アジア地域では、食糧供給が十分ではない地域もあることを鑑みると、食糧生産との競合を避けつつバイオマス資源を最大限生産、利用するシステムを構築することが必要である。

5.1.1 バイオマス生産技術の改良：食糧生産とも両立するためには、生産技術を改良してより少ない資源や土地面積で多くのバイオマス資源を生産することが有効である。特に、現時点で利用されていない未利用バイオマス資源の技術開発と普及が重要となる。また、過度にバイオマス資源に依存したビジネスモデルが普及してしまうと、未利用バイオマス資源も開発してもなお、資源の持続的確保が困難になることもありうる。そこで、早い段階で持続可能なバイオマス利用を前提としたビジネスモデルを検討し、普及させていくことが必要である。

5.1.2 持続可能なバイオマス生産に向けた土地利用：食糧生産と競合しないバイオマス生産の実現には、土地利用規制を設けて競合を回避することが最も容易である。規制を設けるだけでなく、産業や市民に対して規制に対する理解とその遵守に向けて持続可能な森林管理・農地管理の重要性とバイオマス生産の制限に対する理解醸成を進めることも必要となる。

5.1.3 バイオマスCCSの技術開発と導入：バイオマスはカーボンニュートラル資源であり、その利用から発生するCO₂は排出量として計上されない。しかし、炭素隔離貯留 (CCS) によりこれらを回収し隔離・貯留すると、大気中のCO₂排出量の削減に貢献できる。バイオマスCCSの普及にはさらなる技術開発が求められるが、バイオマスを活用した低炭素型エネルギーシステムの構築には重要な意義を持つ。

5.2 地域資源を活かした農村の自立的エネルギー供給システムの確立

5.2.1	バイオマス利用エネルギーシステムの設計・導入
5.2.1.1	バイオマスを利用した自立的エネルギー供給システムの研究開発

5.2.1.2	コミュニティによる普及や企業による研究・開発への支援ファンドの創設
5.2.1.3	発電状況の可視化
5.2.1.4	ベストプラクティスの国際的共有システム
5.2.1.5	化石燃料への補助金の段階的廃止
5.2.2	自立的エネルギー供給システムの便益の可視化
5.2.2.1	バイオマスの地産地消システムによる環境保全に関する評価システムの運用
5.2.2.2	バイオマス高度利用による副次効果の地域情報サービスの提供

農村地域において地域のバイオマス資源を活用した自立的なエネルギー供給システムを導入・普及させるためには、技術開発の促進とともに、システム導入による便益を可視化し、普及が農村地域にとって低炭素化とともに、それ以外の副次的な便益をもたらすことを理解してもらうことが必要となる。

5.2.1 バイオマス利用エネルギーシステムの設計・導入：システム導入には、まず研究開発により最適なシステム構成を明らかにする必要がある。この際には、未利用バイオマスも含めたさまざまな種類のバイオマスについて利用技術を確立し、最適な技術の組み合わせを見出すことが求められる。導入段階では、政府や国際機関からの資金支援も重要であるが、農村やコミュニティ自身が資金を調達できるようなスキームを創設することがシステムの大規模普及には不可欠である。また、エネルギー供給状況を可視化することで、供給量に合わせて需要量を変動させるなど需要側の協力を得ることが可能となる。また、アジア全域のベストプラクティスを集約できると、それを参考にして他地域におけるシステム導入を後押しできる。

アジア地域のいくつかの国では、収入の低い世帯への支援政策の一環として、化石燃料や電力への補助金が導入されていることが多く、バイオマス発電などの高額な設備導入への障壁となっている。そこで、化石燃料や電力への補助金を段階的に廃止し、バイオマスエネルギーの価格競争力を高めていくことが求められる。

5.2.2 自立的エネルギー供給システムの便益の可視化：システム導入が低炭素化以外にも地域の経済活動や生活水準の向上に役立つことを理解・実感できると、自立的エネルギー供給システムの普及を後押しすることにつながる。そのためには、地域環境保全や経済発展へどのように貢献するかを評価し、その副次効果を地域に情報提供することで、バイオマス利用が低炭素化だけではなくさまざまな便益を得られることを理解してもらうことが重要である。これにより、導入時の費用負担だけではなく、運転維持費や修理、リプレース等の際の費用負担への必要性への認識・理解を醸成する。

5.3 バイオマスの高度利用による住環境レベルの改善

5.3.1	家庭における高効率かまどの普及
5.3.1.1	高効率かまどを利活用するライフスタイルへの変革
5.3.1.2	高効率かまどの積極的採用のための地域の主体的な取り組みの促進
5.3.2	新型バイオマス技術の普及
5.3.2.1	新型バイオマスの技術移転
5.3.2.2	高度バイオマス技術の移転と定着のための税制・制度的支援
5.3.2.3	コミュニティ単位での高度バイオマス利用技術の導入



5.3.1 家庭における高効率かまどの普及：家庭内のバイオマス利用に伴う健康被害を減らし、住環境レベルを改善するためには、ガスや電気を用いた調理器具への転換が最も効果的であるが、器具が地域の収入水準と比較すると高額であり、新たなインフラ整備も必要となることから、アジア全域で実施することには困難が多い。そのため、家庭のかまどを高効率なものに置き換えていくことが重要となる。

高効率かまどは、現時点においても安価に入手することが可能であるが、障壁になっているのはライフスタイルの変革である。従来型かまどを利用する地域では、燃料となるバイオマスを収集し、長時間かけて調理するライフスタイルに固定化されており、経済発展が遅れていることもあって変革のインセンティブが薄い。ライフスタイルの変革には個々の世帯ではなく地域全体での取り組みが肝要であり、地域が主体となって高効率かまど導入促進の取り組みを積極的に進めることができる

と、健康被害の軽減だけではなく調理以外の時間が増加することによる経済発展も期待することができる。また同時に、政府や国際機関などからの補助金や税制優遇等により積極的な採用のために、地域の主体的な取り組みを引き出し、促進していくことも重要な手段である。

5.3.2 新型バイオマス技術の普及：新型バイオマス利用技術は、現在では先進国の一部で用いられているのみであるが、この技術を普及させることも住環境レベルの改善に有効な手段である。そこで、これらの技術の移転を進めるとともに、受け入れ国側において技術の定着のために税制的・制度的支援を講じることでより普及を促進することが可能である。また、世帯単位であれば高額であっても、コミュニティ単位でまとめた導入や、共同利用システムとすることができると、高度なバイオマス利用技術導入に要する費用を抑えることができ、普及を加速させることができる。

中国における再生可能エネルギー戦略

2011年に中国政府によって公布された第12次5カ年計画では、2010年時点で一次エネルギー消費量の8.6%を占める非化石エネルギーの割合を、2015年までに11.4%に増加させることが掲げられている。表は、非化石エネルギー目標のうち、再生可能エネルギーについてまとめたものである。

第12次5カ年計画における中国の再生可能エネルギー目標

再生可能エネルギー	2010年		2015年	
	実績	目標	年間生産量	10 ⁴ tce*/年
I 発電	253.3GW	394GW	12,030億kWh	39,000
1 水力発電（揚水発電を除く）	216GW	260GW	9,100億kWh	29,580
2 風力発電（送電網接続済み）	31GW	100GW	1,900億kWh	6,480
3 太陽光発電	0.86GW	21GW	250億kWh	810
4 バイオマス発電	5.5GW	13GW	780億kWh	2,430
農林業系バイオマス発電		8GW	480億kWh	1,500
バイオガス発電		2GW	120億kWh	370
ゴミ発電		3GW	180億kWh	560
II ガス供給			220億m ³	1,750
1 バイオガス供給家庭	4000万戸	5,000万戸	215億m ³	1,700
2 工業用有機排水バイオガス施設		1,000箇所	5億m ³	50
III 熱・冷暖房供給				6,050
1 太陽熱給湯器	1.68億m ²	4億m ²		4,550
2 ソーラークッカー		200万台		
3 地熱利用				1,500
冷暖房給湯		58億m ²		120万戸
IV 燃料				1,000
1 バイオマス固形燃料	300万トン	1,000万トン		500
2 バイオマスエタノール	180万トン	400万トン		350
3 バイオマスディーゼル	50万トン	100万トン		150
合計				47,800

*tce：石炭換算トン（ton of coal equivalent）

2010年の実績（第11次5カ年計画期間において達成できた最終成果）と比較した場合、2015年に21GWを掲げた太陽光発電目標が最も野心的であり、2010年比でほぼ25倍（年率89.5%）になっている。その次は100GW目標を掲げた風力発電で2010年比3.3倍（年率26.4%）、そして13GW目標を掲げたバイオマス発電の2010年比2.4倍（年率19.1%）が続く。

中国における太陽光発電設備容量は、2010年時点では0.86GWに留まっており、そのうちの0.63GWは、政府による「ゴールド・ソーラー・パイロット補助金事業」によって達成されたとされる。2009年より開始した本事業は、プロジェクト認定を受けた事業者の設備投資について政府が50～70%を補助すると同時に、余剰電力を15年間買い取る制度である。2012年まで本制度によって設置された総設備容

量は6.87GWまでに増加した。なお、2010年の固定価格買取制度（1～1.15元/kWh、15年間買取）の実施開始に伴い、本事業の2013年以降の新規募集は打ち切られている。

風力およびバイオマス発電に関しては、それぞれ2009年、2010年に固定価格買取制度が適用され、風力発電の場合の買取価格は0.51～0.61元/kWh、農林業系バイオマス発電は0.75元/kWhに設定されている。

中国政府が再生可能エネルギーに力を入れている理由は、気候変動への対応やエネルギー安全保障の確保、環境技術や関連産業の育成・振興以外にもある。一つは、エネルギーアクセスの拡大である。現在、中国国内では、少なくとも400万人以上の人々が電気のない生活を送っている。中国政府は多額の補助金のもと、社会保障政策あるいは福祉政策として太陽光発電やバイオマス発電設備の導入を進めている。

もう一つの理由は、内需拡大による産業保護と海外輸出における貿易リスクの分散である。太陽光パネルの輸出不振に加え、2010年から加熱したアメリカとEUとの貿易摩擦によって、国内関連企業は未曾有の危機に晒された。国内普及策を怠ってきた反省行動とも捉えることができる太陽光発電目標の大幅な引き上げは、供給過剰の解消につながるだけでなく、貿易リスクの分散、エネルギーアクセスの促進にも貢献でき、メリットは大きい。

2012年末時点で、累計の水力発電設備容量は249GW、風力発電は6.5GW、太陽熱給湯器設置面積は2.58億m²までに拡大されている。これらによって再生可能エネルギー全体では、一次エネルギー生産量の9%、その発電設備容量は全体の28%に達した。

しかし、中国における再生可能エネルギー導入に関しては問題点も少なくない。まず送電網整備が新規設備増加に追いついておらず、送電事業者の意図的な接続回避などもあって再生可能エネルギー発電量全体の17%に相当する電力が送電線にアクセスできていない。その他にも、固定買取価格の設定が地域によっては低すぎる問題や化石燃料価格に対して上乗せされる一定の買取価格（各地域ごとに設定）の請求手続が煩雑である問題などが挙げられる。（金振、明日香壽川）

方策6

地域資源を余さず使う 低炭素エネルギーシステム



概要

アジア低炭素社会には、エネルギー需要側の対策とともに、エネルギー供給側での対策も重要である。そのためには、省エネ化とともに太陽光、風力などの再生可能エネルギー拡大が重要となる。特に再生可能エネルギーは、アジア地域に広く分布するエネルギー資源であり、余さず使うことが温室効果ガス削減には効果が高い。さらに、再生可能エネルギーを拡大することは、電力網につながっていない地域でも電力供給が可能となるため、エネルギーアクセスの向上にもつながり、エネルギー貧困の解決と長期的に持続可能な低炭素エネルギーシステム確立の両立が可能となる。

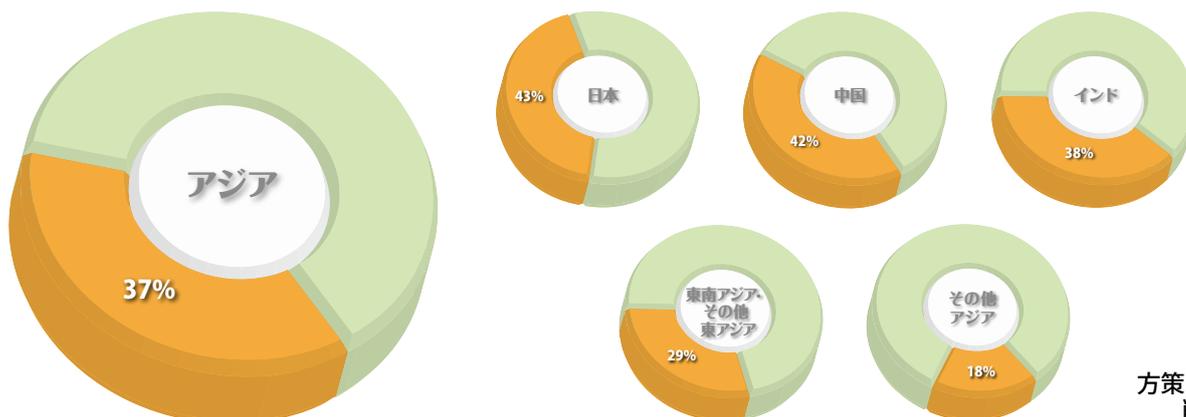
一方で、化石燃料を利用したエネルギー供給システムは、安定して大規模なエネルギー供給が可能である。そこで、既存のエネルギーシステムの高効率化により温室効果ガス排出量削減を進めつつ、再生可能エネルギーと協調した統合型エネルギー供給システムを実現させることにより、低炭素エネルギーシステムは実現可能となる。また、需要側も巻き込んだスマートなエネルギー需給システムの創出も肝要といえる。

これらの実施には、政府が中長期的なエネルギー・環境政策に低炭素社会実現を見据えた対策群を位置づけ、国内のみならず国際的にもアジアが低炭素社会へ向かうことを明確に示すとともに、再生可能エネルギー等の低炭素型エネルギー源や、高

効率発電所、省エネ型機器・設備に対して、制度的、政策的インセンティブを創設・実施することが求められる。制度設計にあたっては、2030年以降の中長期的には政府による支援なしでも進むようにすることが重要である。また、非電化地域における電化の促進も、政府の重要な役割のひとつである。

産業界は、多様な電源を組み合わせることで統合運用できる系統制御手法やスマートグリッド、デマンドレスポンスに関する技術開発を進め、エネルギー・電力の需要家とともにエネルギー需給の最適化を図るための技術開発と普及を進める役割を担う。この際に、市民をはじめとした需要家は住宅新築時に太陽光発電を設置したり、グリーン電力を購入するなどの行動を通じて低炭素なエネルギー源への選好を示すことで、政府や産業界の進める再生可能エネルギーや省エネ機器/設備への支援スキームや技術開発を支援することが可能である。

アジア各国をまたがった国際的な取り組みも同様に重要であり、アジアをまたがる電力網（アジア系統ネットワーク）を国際的な資金メカニズム等も用いて進めると同時に、各国においても規格の統一などを進めるなどの国際的な電力融通のためのインフラ整備を進める。また、再生可能エネルギーの活用に向けて、各国での取り組みの中でのベストプラクティスを共有したり、ローカルな気象情報収集システムの整備や、その利活用手法の知見の共有をしたりすることも重要である。



方策6による温室効果ガス削減量への貢献度

方策によりアジアはどう変化するか

アジアが低炭素社会に向かうためには、エネルギーシステムの電化が重要な対策のひとつであり、それとともに電力供給の低炭素化の貢献度も大きくなる。方策6を実施することで、アジア全域においてほぼ完全な電化を達成することができる。都市部は基幹系統により支えられ、炭素隔離貯留（CCS）が設置された高効率の化石燃料発電設備と、メガソーラーやウインドファームのような大規模集中型の再生可能エネルギー発電設備によって低炭素な電力が供給されている。地方部ではマイクログリッド等を用いて地域の再生可能エネルギーを最大限に活かした電力需給システムが導入されている。また、各国の電力系統はアジア全域をまたがる系統に接続されており、電力供給の安定性も強化される。

再生可能エネルギーの導入量が大幅に増加することにより、発電部門における温室効果ガス排出量が削減されるとともに、習熟効果によって再生可能エネルギーの設備導入費用の低減ももたらされる。方策6を実施することにより、太陽光発電、風力発電の設備費用は、2005年から2050年の間に、それぞれ2400USドル/kWから1200USドル/kW、1750USドル/kWから1500USドル/kWに低下すると見込んだ。

図6-1はアジアにおける発電電力量の推移を、図6-2はアジア各国・地域別の発電電力量の推移を示したものである。なりゆき社会では、燃料費の安価な石炭火力のシェアが大きい。一方、低炭素社会では、2050年においても化石燃料を用いた発電設備が導入されているが、いずれもCCSの設備が取り付けられたものとなっている。バイオマス発電を含めると、発電シェアの32%をCCS付火力発電が占めるようになる。ま

た、風力発電は、なりゆき社会においても2050年には2%のシェアを占めるが、低炭素社会では24%となる。低炭素社会では、太陽光発電のシェアも10%となり、水力、バイオマス発電とあわせると、発電シェアの半分以上を再生可能エネルギーが占めるようになる。このように、方策6が実現する低炭素社会は、太陽光発電と風力発電を中心とした再生可能エネルギーがエネルギー供給の主流を担う社会となる。2050年における地域別の発電電力量については、なりゆき社会、低炭素社会ともに、2005年と同様に中国における発電電力量が50%を超えている。また、2035年までは省エネの効果によって低炭素社会の発電電力量はなりゆき社会のそれよりも少ないが、2040年以降は再生可能エネルギーの供給量が増大し、電化等のエネルギー転換が進み、低炭素社会における発電電力量の方が多くなる。

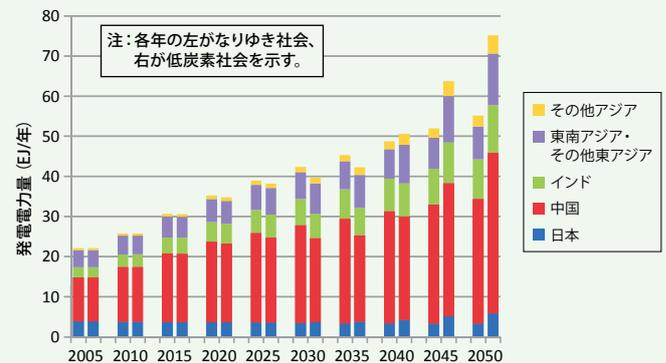


図6-2 アジアの各国・地域別の発電電力量の推移

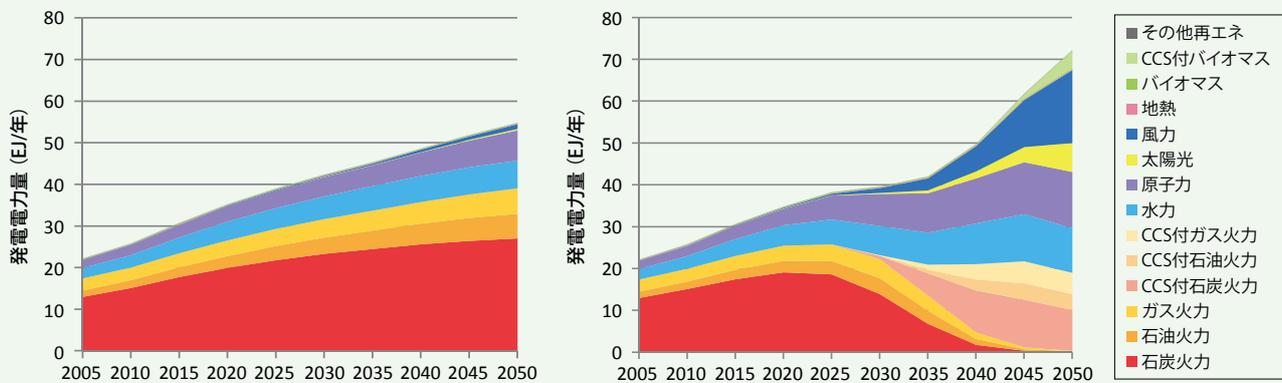


図6-1 なりゆき社会（左）と低炭素社会（右）におけるアジアの電源別発電電力量の推移

方策の貢献度

方策6による温室効果ガス削減量はアジア全域で7.5GtCO₂-eqである。そのうち、日本、中国、インド、東南アジア・その他東アジア、その他アジア（主にインドを除く南アジア）のシェアは、5.1%、59%、18%、13%、4.1%となり、中国での削減量がアジア全体の半分以上を占める（図6-3）。

アジア全域での温室効果ガス削減量に対する方策6の貢献度は37%であり、この部門での対策はアジア全体の低炭素化に大きく貢献する。国・地域ごとに見ても、日本や中国も削減量の40%以上が方策6によるものである。なかでも中国は42%と高く、2050年のなりゆき社会における太陽光発電、風力発電の発電電力量に対するシェアは、それぞれ0%、2%であるのに対して、低炭素社会では2050年には10%、28%と増大する。このように、発電部門の低炭素化はアジア低炭素社会実現に

とって鍵となる対策であることがわかる。また、再生可能エネルギーの導入が2035年以降に特に顕著になることから、方策6の貢献も2035年以降に大きくなる。

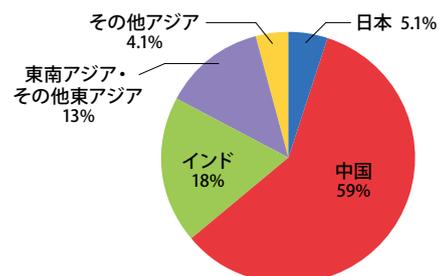


図6-3 2050年の低炭素社会におけるアジアの低炭素エネルギー（バイオマスを除く）対策による温室効果ガス削減量のうち各国、地域が占める割合



方策の構成要素

方策6は、(1) 再生可能エネルギーを中心とした持続可能な地域エネルギーシステムの確立、(2) スマートなエネルギー需給システムの創出、(3) 適度に化石燃料と協調した高セキュリティのエネルギー供給の確保、の3つの小方策から構成される。

6.1 再生可能エネルギーを中心とした持続可能な地域エネルギーシステムの確立

6.1.1 太陽光及び風力エネルギーの利用
6.1.1.1 太陽光及び風力エネルギーシステムの導入
6.1.1.2 エネルギー貯蔵システムの導入
6.1.1.3 複数地点の太陽光及び風力発電所の協調運用による出力平準化システムの導入
6.1.2 水素エネルギーの利用
6.1.2.1 水素利用技術の研究開発
6.1.2.2 水素の製造及び利用の拡大
6.1.3 再生可能エネルギー導入への優遇策
6.1.3.1 再生可能エネルギー導入時のインセンティブ制度の創設
6.1.3.2 再生可能エネルギー利用のインセンティブ
6.1.3.3 再生可能エネルギーの自由取引市場の創設

6.1.1 太陽光及び風力エネルギーの利用：太陽光発電及び風力発電は、アジア地域において広く利用可能であり、これらの拡大を進めることがエネルギー供給の低炭素化には必要である。しかし、自然条件に合わせて出力が変動するため、蓄電池のようなエネルギー貯蔵システムも併設して出力平準化と需要追従性を高める必要がある。また、複数地点の再生可能エネルギーシステムの協調運用も出力平準化に効果的である。

6.1.2 水素エネルギーの利用：再生可能エネルギーの出力を水素エネルギーに転換して燃料電池等で発電すると、需給の不均衡を解消できるのみならず、貯蔵した水素を燃料電池自動車など発電以外の用途でも利用できるようになる。しかし、水素利用技術は研究段階のものが多く、まずは技術開発を強化するとともに、導入に際しては燃料電池自動車等電力以外のエネルギー需要の大きな地域から利用拡大していくことで、効果的な普及につなげることが必要である。

6.1.3 再生可能エネルギー導入への優遇策：他の技術と比較すると、再生可能エネルギーに関する費用は高額である。そのため、導入の加速には、導入費用への支援策とともに、費用に関わらず将来の投資回収が期待できるような制度を創設することにより導入へのインセンティブを与えることが望ましい。さらに、電力取引市場を設けて発電電力を販売できるようにすることも支援策として機能しうる。この他に、低金利ローン等による支援や、発電量に応じた電力料金の割引制度、再生可能エネルギー設置住宅や建築物に対する税制優遇などもある。

6.2 スマートなエネルギー需給システムの創出

6.2.1 スマートエネルギーシステムの導入
6.2.1.1 スマートエネルギーシステムの研究開発
6.2.1.2 エネルギー需給の不一致を平滑化する電力貯蔵設備の導入
6.2.2 デマンドレスポンスシステムの導入
6.2.2.1 ピークカットへの理解醸成とインセンティブ付与等による協力の推進

6.2.2.2 間欠型エネルギー供給資源の出力の平滑化への協力インセンティブプログラムの創設
6.2.3 電力マネジメントシステムの導入
6.2.3.1 系統電力の状況の透明化に向けたモニタリングシステムの導入
6.2.3.2 自己診断による物理的・情動的セキュリティを確保できる技術の研究開発
6.2.4 需要マネジメントへの優遇策の導入
6.2.4.1 産業部門における高効率機器導入およびパワークオリティコントロールへのインセンティブ
6.2.4.2 デマンドレスポンスへのインセンティブ付与
6.2.4.3 ピークとオフピークに分かれた電力料金制度の創設

6.2.1 スマートエネルギーシステムの導入：低炭素型エネルギー源、特に再生可能エネルギーの拡大には、エネルギー貯蔵設備などの供給側対策だけではなく、需要側も巻き込んだスマートエネルギーシステムを構築することが重要である。実現には、スマートメーターなど既に確立した技術に加えて、今後の研究開発が必要なエネルギー供給量予測や予測に応じたエネルギー需要マネジメントなどの技術が必要となる。また、エネルギー貯蔵システムは、供給量の平滑化と、需要への追従性を高める両面で重要な技術要素であり、スマートエネルギーシステムの実現にはその研究開発と普及も求められる。

6.2.2 デマンドレスポンスシステムの導入：需要を供給にあわせて柔軟に変化させるシステムは、デマンドレスポンスと呼ばれる。これにより、供給力の高い時間帯への需要シフトや、供給力が不足する時間帯の需要抑制（ピークカット）などを自律的に実施することが可能となる。しかし、需要家の理解と協力なしでは成り立たないため、需要シフトやピークカットへの理解醸成を推進するとともに、実施に対するインセンティブ付与制度により協力する需要家を広げることが肝要である。一方で、供給側でも出力平滑化システムを導入し、将来のエネルギー供給力を予測しやすくして、需要削減や抑制をしやすくすることも重要である。

6.2.3 電力マネジメントシステムの導入：エネルギーシステム全体の情報が逐次供給側と需要側で共有するためにリアルタイムモニタリングシステムを開発、運用することは低炭素エネルギーシステムの実現には不可欠である。一方、需要情報は、産業活動や生活などと密接に関係し、情報漏洩によるリスクも大きい。そのため、ソフト的にも物理的にも十分なセキュリティが必要とある。また、常時稼働するシステムであるため、万が一障害が起こった際にもすぐに検知、修復が可能となる常時の自己診断技術の開発も必要である。

6.2.4 需要マネジメントへの優遇策の導入：デマンドレスポンスの実施に対するインセンティブを設けることで、多くの需要家の協力を引き出すことが可能となる。このようなインセンティブは、協力した需要家のみならず、省エネ機器導入に対してのインセンティブも含まれる。また、ピークとオフピークに分かれた電力料金制度を普及させることで、ピーク時の需要低減インセンティブを与えることが可能である。

6.3 適度に化石燃料と協調した高セキュリティのエネルギー供給の確保

6.3.1 電力供給設備の高効率化
6.3.1.1 発電所の高効率化への補助金ないしは税制優遇の創設



6.3.2 炭素隔離貯留設備の利用

6.3.2.1 CCS技術の研究開発

6.3.2.2 貯留場所の調査

6.3.2.3 CCS技術の新設・改修火力発電所の導入

6.3.3 国際協力の推進

6.3.3.1 アジア系統ネットワーク構想の検討

6.3.3.2 アジア系統ネットワークの建設・金融的措置の検討

6.3.1 電力供給設備の高効率化：電力供給設備では、導入時の費用負担が将来の設備計画に大きく影響する。そこで、補助金等や固定資産税等の軽減措置を組み合わせ、短期的には従来型設備よりも負担は大きい、長期的に見れば十分投資額を回収可能なスキームとして、高効率な発電設備の導入へのインセンティブを創設、実施することが望ましい。

6.3.2 炭素隔離貯留設備の利用：CCSは、発生した温室効果ガスを地中などへ注入、隔離・貯留する技術であるが、その普及には、さらなる技術開発と隔離した温室効果ガスを貯留でき

る場所の調査が必要である。CCSを新設の火力発電所や火力発電改修時に義務化することで、大規模発電所においても低炭素化を促進できる。

6.3.3 国際協力の推進：再生可能エネルギーの利用可能量や化石燃料の生産・貯蔵のインフラは、各国ごとに状況が異なる。アジア系統ネットワークを設けることで、太陽光や風力の条件の良い地域への太陽光発電や風力発電の大規模導入や、ガス生産地での高効率発電所の建設と、余剰電力の他国や他地域への輸出ができるようになり、アジア全体としてエネルギー供給の低炭素化を進めることができる。

しかし、アジア系統ネットワークの検討には、検討すべき課題が多い。そこで、まず実現可能なアジア系統ネットワークの姿についての技術的検討から開始する必要がある。また、すべての国が十分な資金をアジア系統ネットワーク敷設に提供できるとは限らないことから、国際的な資金メカニズム等による資金供給スキームを構築することも重要となる。

アジアにおける脱化石エネルギーの効用

エネルギー供給の脱炭素化は、温室効果ガス排出量削減のみでなく、エネルギー・セキュリティ確保の観点からも重要である。アジア各国の政府が脱炭素化に向けた政策を積極的に進める背景として、このエネルギー安定供給の問題があることは注目に値する。

従来、アジアでは石油はインドネシア・中国・ブルネイなどを中心に生産が行われ、その自給率は高い水準にあった。しかし需要が急速に増加する一方で生産は大幅には増加せず、中国は1990年代前半に、インドネシアは2000年代に入ってからすぐに石油の純輸入国に転落した。2000年から2010年までの10年の間にその自給率は中国で72%から47%、インドで33%から26%、インドネシアで124%から72%まで急低下している。石油の純輸出国は既にブルネイ・マレーシアの二カ国のみとなっており、そのマレーシアにおいても国内需要の増加により石油の自給率は2000年の169%から2010年に132%と、着実に低下を続けている。

天然ガスについては、従来ほぼ天然ガスの自給を続けていた中国は2005年から純輸入を拡大しており、2010年までの5年間で既に自給率は87%まで低下した。インドも2003年から天然ガスの輸入を開始し、2010年の自給率は既に80%まで低下している。ASEAN諸国は豊富な国内資源により日本や韓国への輸出を続けており、2011年における日本のLNG輸入量のうちマレーシア・インドネシア・ブルネイの三カ国が40%近くを占めるが、そのASEAN諸国においても天然ガスの自給率は1990年の238%から2010年に145%と着実な低下を示している。

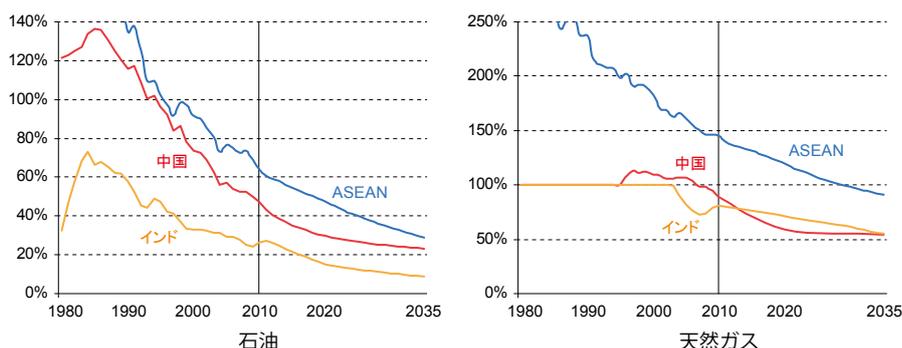
今後、中国におけるシェールガス開発の進展等を考慮したとしても、需要の急拡大は生産の拡大を上回り、仮に過去のトレンドが継続したとすると、石油・天然ガスの自給率は図に示すよ

うに急速に低下を続ける。即ち現在は、かつてエネルギー輸出地域であったアジアが一転して世界最大のエネルギー輸入地域に変貌しつつある時代であり、この観点から各国は化石燃料の利用を抑えるためにあらゆる努力を行っている。

図に示すケースでは2035年までの化石燃料の累積輸入額は中国で13兆USドル、インドで5兆USドル、ASEANで4.2兆USドルに達する。年間の輸入額はそれぞれGDPの3～5%程度に相当する規模となり、その動向が経済に与える影響は大きい。化石燃料の輸入増加は低炭素エネルギーや省エネ技術への投資増とは異なり、純粋な国富の流出になると同時に、一次エネルギー価格の変動という外的な要因によって大きく左右されるという特徴を有し、国のエネルギー・セキュリティを脆弱なものとする。これらの観点から、低炭素エネルギーシステムの実現は、今後のアジア各国の持続的な成長にとって不可欠のものと思われている。（松尾雄司）

参考文献

Y. Matsuo, A. Yanagisawa and Y. Yamashita (2013) A global energy outlook to 2035 with strategic considerations for Asia and Middle East energy supply and demand interdependencies, *Energy Strategy Rev.*, 2, pp.79-91.



アジアの石油・天然ガス自給率



方策7

低排出な農業技術の普及



概要

IPCC第4次評価報告書によると、農業・畜産部門は、2004年時点で世界全体の人為起源の温室効果ガス排出量の14.3%を占める。2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量半減の達成に向けては、農業・畜産における温室効果ガス削減対策も重要な役割を果たすと考えられる。とりわけ、第一次産業を主な産業とするアジア地域では、国内排出量の大部分が農業・畜産に由来するため、温暖化対策では重要な部門のひとつである。第一次産業における対策は、例えば、気候変動対策の一つである家畜排せつ物の管理が生態系の保全や公衆衛生の改善にも貢献するように、一つの対策が関連する他の問題の解決につながる副次的な効果が期待される。また、電力部門や産業部門より比較的安価に実施できるため、アジア諸国を中心に国際的な取り組みが進められている。

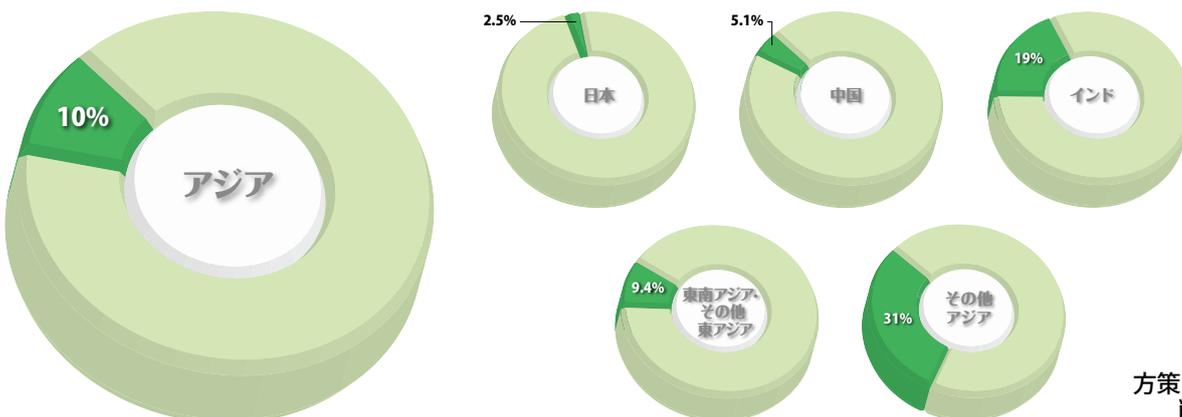
これらを実施していくためには、政府が水田の水管理のための灌漑施設や家畜排せつ物の処理施設の整備など、低排出な農業・畜産技術を普及するための社会基盤構築や法規制の整備を行うとともに、高効率な施肥方法などについての情報を提供することも必要である。また、肥料の無償配布など過度に補助を与えている地域では、農家の育成も実施し、適切な施肥管理へと導くことも、政府の重要な役割の一つである。

農業・畜産部門においては、適切な水田の水管理、家畜排せ

つ物の回収・処理、肥料および作物残渣の管理を実施する。このためには新技術を積極的に取り入れ、農産物の生産性向上と排出削減を両立させることが求められる。市民は、低排出な農業・畜産により生産された農産物を選好することで、低排出型農産品の市場価値を高めることに貢献できる。

アジア各国にまたがる取り組みも同様に重要であり、低排出な農業・畜産技術の国際共同開発を実施し、各国・各地域に適した形で技術移転し、普及させること、さらに、低排出型農産物の国際的な認証を導入し普及させることも重要である。

農業・畜産起因の温室効果ガスは主としてメタンと亜酸化窒素である。1990年代はエネルギー起源のCO₂排出への関心が高かったが、2000年代前半にCO₂以外の温室効果ガス（メタン、亜酸化窒素、Fガス）の排出や非エネルギー起源の温室効果ガスへの関心が高まり、2006年には多種類の温室効果ガスを対象に気候政策などを評価するエネルギーモデリングフォーラムがまとめた特別号が発行された（Chesnaye and Weyant, 2006）。そこでは、非エネルギー起源の温室効果ガスはエネルギー起源と比べて不確実な部分は大きい、非CO₂と森林吸収（方策8で取り上げる）による排出削減効果は大きく、将来の気候安定化において重要な部門であることが示された。本プロジェクトにおいても非エネルギー部門における削減効果の検討を行ってきた。コラムではその成果の一部を紹介している。



方策7による温室効果ガス削減量への貢献度

方策によりアジアはどう変化するか

低炭素社会では、農業・畜産部門において、中干し等の水田での水管理や稲わらのすき込み技術が広く浸透し、メタンの排出量は低減する。農地への過度な肥料投入を避け、適切な施肥（分肥、緩効性肥料の導入など）の浸透によって、亜酸化窒素の発生量も低減する。家畜の排せつ物は適切に回収・処理されており、回収されたメタンは家庭などでの直接利用や発電に用いられる。家畜の飼料の改善が進み、反芻によるメタン排出量低減や畜産物生産性の向上につながっている。

上に示す将来像をモデルで再現するため、水田、家畜排せつ物管理に由来するメタン、施肥と作物残渣の管理に由来する亜酸化窒素についての限界削減費用曲線をモデル内で設定している。限界削減費用曲線とは、追加的な排出削減費用とその費用下での削減効果の関係を表す関数で、農業・畜産分野を対象とした技術積み上げ型モデルにより推定した関数を用いている。具体的には、温室効果ガス削減のための追加的な削減費用が20USドル/tCO₂において削減率は14%、50USドル/tCO₂で12%、100USドル/tCO₂で11%、といったように削減率に応じて上昇するように設定している。ここで、追加的な削減費用とは、排出税率や補助金などの排出削減に対する

インセンティブあるいはディスインセンティブを含んだもので、限界削減費用曲線は削減費用が高いほど温室効果ガス排出削減量が大きくなることを表している。

炭素価格が導入されることにより、追加的な削減費用の低い対策から導入が始まり、費用の高い対策が順に追加されていく。図7-1において削減効果が2030年あたりで頭打ちになり、それ以降大きな効果が見られないのは、農業・畜産部門の削減効果が比較的安価であるため、削減費用が低い段階で大部分の効果が発揮されるためである。具体的な対策の内容、削減費用と効果についてはインドネシアの例を挙げてコラムで紹介している。

低炭素社会の実現に向けての課題として、農業・畜産における対策技術の普及には、各国・地域を取り巻く環境・風土条件の違いや経済状況の違いなどによる制約があるため、各国・地域の状況にあった技術が移転できるよう、対策技術に関する研究・開発、社会基盤の構築、十分な費用支援、情報普及をしていくことが挙げられる。さらに、地方レベルにおいても、農家に向けた適切な情報発信や教育ができるよう、政府、地方自治体、農家、消費者などを巻き込んだシステムづくりが必要となる。

方策の貢献度

なりゆき社会においては、2050年の農業・畜産部門からの温室効果ガス排出量は4.4GtCO₂-eqであり、2005年から1.7倍増加している。低炭素社会では、温室効果ガスの排出に対して価格がつけられることから、2020年以降に温室効果ガス排出削減に向けた行動がとられ、2050年の排出量は2005年の排出量から9%削減することができる。この排出量は、なりゆき社会のそれと比較して48%の減少となる。この削減量は2.1GtCO₂-eqであり、これは世界の農業・畜産部門からの削減量の約40%に相当する（図7-1）。

アジア全域の農業・畜産部門からの温室効果ガス削減量は2.1GtCO₂-eqである。そのうち、日本、中国、インド、東南アジア・その他東アジア、その他アジア（主にインドを除く南アジア）のシェアは、それぞれ、1.0%、26%、33%、15%、25%であり、インドにおける削減量が一番大きい（図7-2）。

アジア全域での温室効果ガス削減量に対する方策7の貢献度は10%である。各国、地域別に見ると、その他アジアでは方策7の貢献度は31%と他の地域と比べて最も大きく、インドは19%と2番目に大きい。これは、その他アジアおよびインドにおいては農業・畜産生産額の伸びが、なりゆき社会、低炭素社会のどちらにおいても、それぞれ、7倍以上、2.5倍以上とアジアの平均である1.7倍を大きく上回っていることによる。

その他アジアでは、農業・畜産部門からの2050年の温室効果ガス排出量は、なりゆき社会において、2005年から4.3倍増加して、1.2GtCO₂-eqとなる。これは、アジアの排出量の27%である。低炭素社会での排出量は0.65GtCO₂-eqと、なりゆき社会と比較して44%減となるが、2005年の排出量と比較すると2.4倍であり、2050年のアジアの排出量に占める割合は29%となる。

インドにおける農業・畜産部門からの2050年のなりゆき社会の排出量は1.4GtCO₂-eqであり、アジアの排出量の33%を占める。低炭素社会での排出量は0.73GtCO₂-eqと、なりゆき社会と比較して約半分になるが、アジアの排出量に占める割合はほぼ同じである。

中国における農業・畜産部門からの2050年のなりゆき社会の排出量は1.1GtCO₂-eqであり、アジアの排出量の24%を占める。低炭素社会での排出量は0.51GtCO₂-eqと、なりゆき社会と比較して52%減となり、アジアの排出量に占める割合は22%となる。

東南アジア・その他東アジアにおける農業・畜産部門からの2050年のなりゆき社会の排出量は0.69GtCO₂-eqであり、アジアの排出量の16%を占める。低炭素社会での排出量は0.37GtCO₂-eqと、なりゆき社会の46%減となるが、アジアの排出量に占める割合は変わらない。

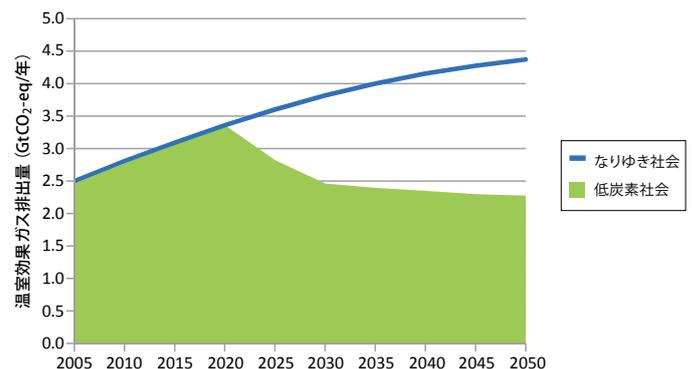


図7-1 なりゆき社会と低炭素社会に向けたアジアにおける農業・畜産部門からの温室効果ガス排出量の推移

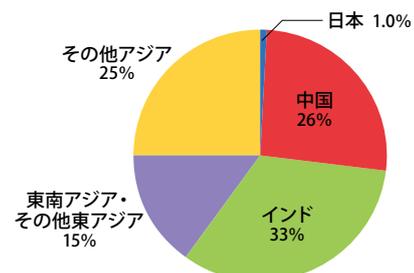


図7-2 2050年の低炭素社会におけるアジアの農業・畜産部門の温室効果ガス削減量のうち各国、地域が占める割合



方策の構成要素

方策7は、(1) 水田の水管理技術の普及、(2) 適切な施肥と残渣の管理、(3) 家畜排せつ物からのメタン回収・利用、の3つの小方策から構成される。

7.1 水田の水管理技術の普及

7.1.1 インフラの建設

7.1.1.1 灌漑敷設事業の実施

7.1.1.2 貯水施設の整備

7.1.2 水田水管理技術の開発と普及

7.1.2.1 水利用効率の改善

7.1.2.2 間断灌漑技術の普及

稲の栽培期間を通じて常に水田に水をはっていると、メタンが発生しやすくなる。そこで、栽培期間中に水田を排水する「中干し」を実施することで、メタンの排出を削減できる。日本では、中干しは、根腐れを防ぎ、収量向上を目的とした慣習として昔から実施されてきた。最近では過剰生育や稲の倒伏防止を目的として、入排水を繰り返す「間断灌水」も実施されており、生産性向上と排出抑制の両立が期待される。

7.1.1 インフラの建設：中干しや間断灌漑を普及・実施するためには、インフラの建設、つまり、灌漑施設と貯水施設を整備することが不可欠である。中干しや間断灌漑を実施するには、水田への排水・灌水に合わせて、十分な水資源の確保が必要となるため、貯水能力の向上が求められる。したがって、天水栽培を行っている地域に対しては、灌漑の敷設と同時に、貯水するための技術を普及することが挙げられる。

7.1.2 水田水管理技術の開発と普及：同時に、水田での水資源を管理し水利用効率を改善する知見・技術を移転し普及していくことも求められる。これは、排出削減だけではなく、食料生産のための安定した水供給を確保することにも貢献すると考えられる。

以上の技術を導入することによって、中干し・間断灌漑の実施が可能になるが、上で述べたように灌漑が敷設されている必要があるため、灌漑設備が十分整っている地域からはじめ徐々に拡大していくことが一つの普及方法と考えられる。

7.2 適切な施肥と残渣の管理

7.2.1 施肥に関する技術の開発と普及

7.2.1.1 施肥利用効率・施肥方法の改善

7.2.1.2 有機肥料の利用

7.2.2 耕作法と作物残渣利用の改善

7.2.2.1 作物残渣量の推定

7.2.2.2 適切な作物残渣管理方法の選定

7.2.2.3 ゼロ耕作/低耕作の実施

農地に施用する窒素肥料に対する土壌中の微生物の生物反応によって亜酸化窒素が発生する。窒素肥料投入を抑制するためには、窒素肥料の過剰な施用を避け、適切な量を施すことが重要であるが、施肥方法を改善し、肥料の利用効率を改善することも亜酸化窒素の排出量の抑制につながる。

7.2.1 施肥に関する技術の開発と普及：施肥方法・肥料の利用効率を改善する方法には、肥料散布機のメンテナンスによる過剰投入や不足の防止、局所施肥など作物にとってより効率的な位置への窒素肥料の施用、耕作地の端や溝などへの肥料の流



出の防止があり、土壌からの亜酸化窒素排出量を削減することができる。また、耕作地における肥料流出を防止するため、肥料散布場所の形状を改善する方法もある。肥料の効率的な利用の一つに「分肥」があり、肥料を一度に撒くのではなく、作物の生長過程に合わせて少量ずつ数回に分けて撒く方法である。最近では、緩効性肥料や硝化抑制剤など新しいタイプの肥料の使用も温室効果ガス発生抑制に効果的であるとされている。さまざまな被覆型、あるいは化学結合型緩効性肥料は、無機態窒素の土壌中への放出を制御し、作物による窒素吸収効率を高めるものである。その結果、窒素のロスを減少させ亜酸化窒素発生や硝酸の溶脱を軽減することが期待される。家畜の排せつ物や穀物の残渣などの有機肥料を利用し、無機肥料の使用量を削減することで、温室効果ガス排出量を削減することもできる。

7.2.2 耕作法と作物残渣利用の改善：農地土壌の耕起により土壌中の炭素貯留量が低下するうえ、作物残渣には炭素が含まれていて燃焼や腐敗により大気中に排出されるため、どのように耕作し作物残渣の管理を行うかは排出量に影響を与える一つの要因である。残渣を管理するには、まず作物残渣がどの程度発生しているのかを把握し、そのうえで適切な作物残渣の管理方法を選定することが可能となる。

排出を抑制する作物残渣の管理方法としては、水田の場合、米の育成期の直前ではなく、育成期の2ヶ月前にわらを敷くことで、有機物の土壌への溶解を妨げ、水田からのメタン排出量を削減する方法がある。あるいは、水稲収穫後に稲わらを土壌にすき込むのではなく、堆肥化してから施用することで、土壌中の炭素量を減らし、メタンの発生を抑制する方法もある。稲の作付け体系で長期にわたって水田に稲わらを連用すると土壌中の炭素量と窒素量が増加し、稲栽培後の土壌の固相率が減少する。また、農業残渣の野焼きを減らすことで野焼きに由来する排出を抑制することもできる。

排出を抑制する耕作法として、耕作地を耕さない、あるいは耕す程度を抑える「不耕起・低耕起」が土壌のかく乱を抑え炭素貯留量を高める方法として、世界中に広まりつつある。

7.3 家畜排せつ物からのメタン回収・利用

7.3.1 排せつ物管理設備の設置

7.3.1.1 家畜排せつ物処理施設の設置

7.3.1.2 バイオガスの家庭での利用

7.3.2 家畜排せつ物関連規制の創設

7.3.2.1 家畜排せつ物管理に関する規制の創設

家畜排せつ物の嫌氣的発酵によりメタンが発生する。排せつ物から発生したメタンをバイオエネルギーとして直接利用し



たり、発電に利用したりすれば、排出抑制とエネルギー供給の両方に貢献する。アジアの諸国では、簡易な貯留槽で排せつ物からのメタンを回収し、それを主に家庭で使用する例も見られる。

7.3.1 排せつ物管理設備の設置：家畜排せつ物管理設備には、様々なタイプがある。嫌気発酵処理プラントでは、嫌氣的

環境下でバクテリアを用いて発酵させ、バイオガスを生成し、メタンを回収し、発電や発熱に利用することができる。このようにして発電・発熱されたエネルギーは農場や家庭で利用することができる。しかし、複数の農場用の大型プラントは未だに高額である。各農場に導入される小規模なプラントであれば、比較的安価であり、例えば、同じメカニズムを用いた非加熱式貯留槽、簡易型貯留槽は、すでに中国やインドを含む一部の国で導入されているという報告もある。

7.3.2 家畜排せつ物関連規制の創設：家畜排せつ物に関連する規制の創設、および導入費用にかかる支援策が、上で述べたような設備の導入を加速させるのに貢献すると考えられる。

参考文献

F. de la Chesnaye and J. Weyant (eds.) (2006) Multi-Greenhouse Gas Mitigation and Climate Policy, *The Energy Journal*, Special Issue.

インドネシアでの農業・畜産起因の排出削減

アジア諸国では、第1次産業が国内経済に占める部分が大きいため、温室効果ガスの国内排出量のうち農業・畜産・土地利用変化部門に由来する割合は高い。例えば、インドネシアでは、農業・畜産、土地利用変化、泥炭地火災に由来する排出量が国内排出量の6割以上を占める。したがって、農業・畜産・土地利用変化に対する排出削減効果を定量的に評価し、高い削減効果をもつ対策を特定することは、アジア諸国での排出削減戦略を決めるうえで重要である。

筆者らは、国・地域レベルで、農業・畜産・土地利用変化での具体的な排出緩和策の情報に基づいて、温室効果ガスの削減効果を計算するボトムアップ型モデル、農業・畜産・土地利用排出削減評価モデル（AFOLUモデル）を開発した。将来の農畜産業の生産量や土地利用の変化量はシナリオとしてモデルの体系外で想定し、このモデルでは農畜産業生産者・林業経営者らによる経済合理性を持った排出削減対策（技術）の選択肢とそれによる削減効果を算定する。このモデルをインドネシアに適用し、農業・畜産・土地利用変化における排出削減のための具体策を分析した。シナリオの設定にあたっては、インドネシア固有の条件を反映させるため、インドネシア国政府による統計書、将来計画等を参照した。ここでは、農業・畜産部門についての研究成果を中心に紹介する。

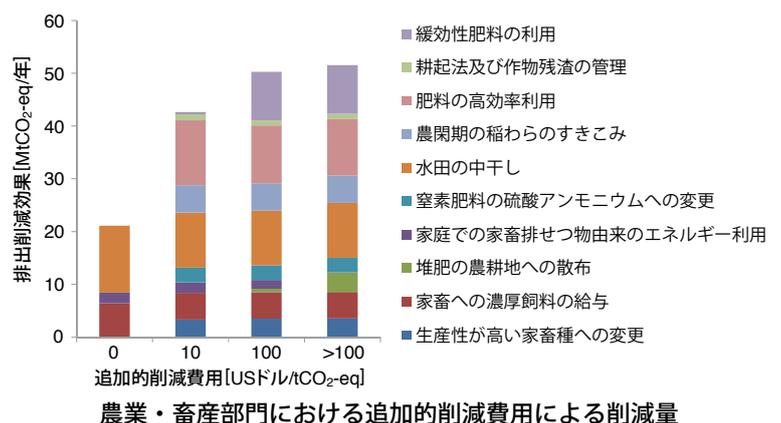
インドネシアの温室効果ガス排出量を推計したところ、2005年時点で純排出量は885MtCO₂-eq/年（うち、農業・畜産由来が77MtCO₂-eq/年、土地利用変化に由来する純排出が807MtCO₂-eq/年）となった。将来対策を実施しない場合、これらの排出量は増加し続け、2030年には農業・畜産・土地利用変化に由来する排出量は1510MtCO₂-eq/年（2005年比1.7倍、うち農業・畜産由来は150MtCO₂-eq/年、土地利用変化からの純排出は1360MtCO₂-eq/年）に達することが示された。農業・畜産部門では、家畜の反芻（ゲップ）・排せつ物管理と農地の土壌に由来する排出が著しく増加する。土地利用変化

については農地拡大を目的とした泥炭地の排水・酸化に起因する排出量が著しく増加し、2030年に全土地利用に由来する排出量の48%を占めることになる。

削減効果については、2030年、排出削減のための追加的許容費用10USドル/tCO₂-eqとする場合、農業・畜産部門では2005年排出量比55%に相当する43MtCO₂-eq/年の削減が見込まれた。そのうちの半分近くは水田での水管理と肥料の高効率利用による効果であった。21MtCO₂-eq/年の排出は、追加的費用がかからないノーリグレット対策により削減できることがわかる。10USドル/tCO₂-eq以上では削減効果が大きく増加しないのは、農業・畜産部門での削減費用が比較的安価であるため、追加的費用10USドル/tCO₂-eqで、多くの対策が導入され、ほとんどの削減効果がそこで計上されているためである。対策費を考慮しない場合の技術的な最大削減効果は52MtCO₂-eq/年（2005年農業・畜産由来排出量比67%、2030年農業・畜産由来BaU排出量比35%）となった。（長谷川知子）

参考文献

T. Hasegawa and Y. Matsuoka (2013) Climate change mitigation strategies in agriculture and land use in Indonesia, *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*. Doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11027-013-9498-3>.





方策8

持続可能な森林・土地利用管理

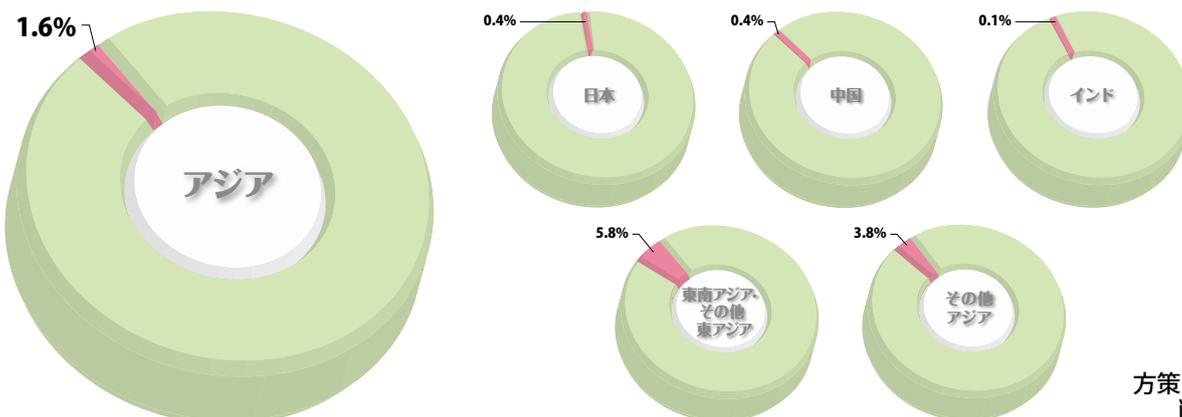
概要

森林破壊は、森林に貯留されている炭素量を減らし、土壌をかく乱することでCO₂の排出をもたらす。森林破壊を減らし、現存する森林を保護することが、CO₂排出量の削減につながる。伐採後に残された森林の質が劣化し、将来の木材生産性の低下やバイオマス生長に被害をもたらすことがある。木材伐採に伴う土壌のかく乱を抑えるなど、伐採方法やその後の維持管理を改善することが、森林劣化を抑え、CO₂排出量の削減・吸収量の増加をもたらす。なお、草地などともと森林のなかった土地への植林を新規植林といい、森林破壊などにより森林がなくなってしまった土地への植林を再植林という。京都議定書では、植林活動がクリーン開発メカニズムとして認められている。植林により光合成によって吸収されたCO₂を、炭素として樹木や土壌中に貯留することが可能である。

インドネシアでは、森林火災や泥炭地排水と腐敗に由来する排出が土地利用由来の排出量の半分近くを占めるなど、アジアでは森林火災や泥炭地の持続可能な方法での管理が重要である。これらの管理は、排出抑制のみならず、違法伐採を防ぎ、生態系の保全も促すと考えられる。この管理を実施するためには、政府は、森林を保護し違法伐採や無秩序な農地拡大を抑制するため、土地の区画整理を行い、利用について適切に管理することが求められる。同時に、違法伐採木材の排除、輸出

規制に取り組むことも必要となる。それと並行して、地域住民の教育や貧困層への経済的支援も求められる。産業界においては、開墾・利用が認められた土地においてのみ林業やプランテーションを実施し、無秩序に土地を開墾しないことが求められる。また、開墾時の火入れ・火災を管理し、林業者は木材伐採後にその土地が劣化せずに森林へと再生するよう責任を持って維持管理することが求められる。民間による植林事業の展開も重要な役割を果たす。さらに、木材製品には認証された木材を使用することで、違法伐採木材の排除を促進することが可能である。地域住民は地域レベルの森林管理と植林に参加し、森林およびその生態系の重要性を理解することが求められる。また、持続可能な生産と認証された製品を選好することや、生活が違法伐採に依存している貧困地域では、政府・NPO・国際社会などのプログラムに積極的に参加して、林業以外の経済活動にも取り組むことで収入源を多様化させ、違法伐採による収益に依存しない生計を確立していくことが求められる。

アジア各国にまたがる取り組みも同様に重要である。木材やオイルパームの生産過程を持続可能性の観点から評価する国際認証を確立し、基準に満たない製品の貿易を規制していく必要がある。また、生産地における技術普及、人材育成に向けて国際協力活動を推進する。高収量品種など農地生産性向上に向けた技術の普及は、農地拡大・森林減少の抑制にもつながる。



方策8による温室効果ガス削減量への貢献度

方策によりアジアはどう変化するか

低炭素社会では、持続可能な森林管理・土地利用が実現されるだけでなく、温室効果ガス排出量の削減という視点からも、土地利用起源の温室効果ガス排出量は大幅に抑えられた社会となる。具体的には、各国・地域政府が森林の区画整理を行い、森林は区画ごとに管理組織により管理される。地域住民や民間の参加を促すようなインセンティブを与える仕組みが導入され、地域住民は地域の森林管理や植林事業に参加し、違法な木材伐採は大幅に軽減される。民間には植林技術が浸透し、植林への新規参入も多い。認められた区画において木材生産が行われており、土地を持続的に利用しようとする意識は高く、無秩序な土地の開墾は軽減されている。このように、持続可能な観点から森林を保護し農林産物を生産するための社会基盤が構築されている。

方策7の農業・畜産部門と同様、限界削減費用曲線をモデル内で想定することで、追加的削減費用が上昇するほど、削減効果が大きくなるとした。

追加的削減費用が2020年以降上昇するにつれ、森林管理・土地利用に対する対策が導入され、温室効果ガス排出量の削減が進められる。土地利用には大きな変化は見られないが、2015年以降、農地の一部がバイオ燃料作物生産に利用され、2050年にはその面積は51Mhaに達する。この傾向は特に中国で顕著であり、低炭素社会では、なりゆき社会に比べて、バイオ燃料用地は8.0倍に増加する（図8-1）。

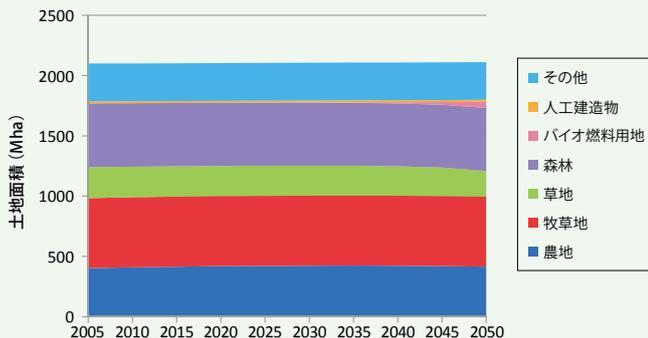


図8-1 低炭素社会に向けたアジアの土地利用の推移

アジアの森林面積は2005年に530Mhaであるが、対策を実施しないなりゆき社会では2050年に515Mhaにまで減少する。一方、低炭素社会では2020年以降に森林面積の減少が抑制され、2050年に522Mhaとなる。削減の寄与が大きい東南アジア・その他東アジア地域では森林面積は2005年に226Mhaであるが、2050年になりゆき社会では218Mha、低炭素社会では222Mhaになると予想される（図8-2）。森林減少の防止による削減効果は高いため、森林を保護し、違法や無計画な森林伐採を土地利用政策によって減らすことが、温室効果ガス排出量削減に有効であるといえる。一方、インドなど、国土に対し余剰の土地が少なく、将来の人口増加・経済成長などにより食料需要が増加する地域においては、森林開拓と農地拡大の抑制は他の地域と比べて困難となる。

低炭素社会の実現に向けていくつかの課題が挙げられる。まずは、森林保護区に管理ユニットを設立し、森林とその他の土地の利用を厳重かつ柔軟に管理する必要がある。また、違法伐採に依存している住民の雇用の確保をはじめとする経済的な支援を目的とした森林管理・植林事業を実施したり、移動耕作民の定住化のための技術普及など、時間はかかるが実践・浸透させていく必要がある。さらに、パームオイルや木材の製造会社に対する土地開墾のライセンス制度を導入することも求められる。

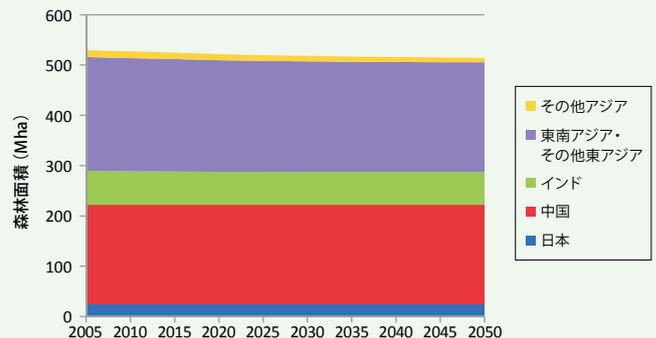


図8-2 低炭素社会に向けたアジアの森林面積の推移

方策の貢献度

アジア地域では、なりゆき社会において2050年の森林・土地利用部門からの温室効果ガス排出量は0.68GtCO₂-eqであり、2005年の排出量の64%である。低炭素社会では、さらに温室効果ガス対策が進むことから、2050年の排出量は2005年の排出量の34%にまで削減できる。

アジア全域の森林・土地利用部門からの削減量は0.31GtCO₂-eqである。そのうち、日本、中国、インド、東南アジア・その他東アジア、その他アジア（主にインドを除く南アジア）のシェアは、それぞれ、1.2%、15%、0.9%、62%、20%であり、東南アジア・その他東アジア地域における削減量が最も大きい（図8-3）。

アジア全域での温室効果ガス削減量に対する対策8の貢献度は1.6%である。各国・地域別に見ると、東南アジア・その他東アジア地域では、方策8の貢献度は5.8%と他地域に比べて大きく、その他アジアの3.8%が続く。

東南アジア・その他東アジア地域においては、なりゆき社会における森林・土地利用部門の温室効果ガスの排出量は減少傾

向であり、2005年の0.92GtCO₂-eqから2050年にはその60%の0.55GtCO₂-eqとなる。これは、なりゆきシナリオにおいても、森林からの温室効果ガス排出量を減らす努力がなされているためである。これに加えて排出量削減対策が講じられることにより、低炭素社会での排出量は0.35GtCO₂-eqと2005年の排出量の39%まで減少する。

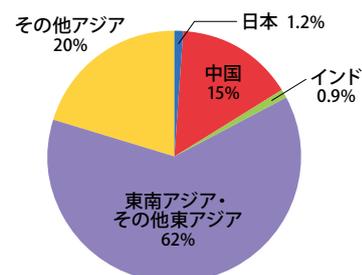


図8-3 2050年の低炭素社会におけるアジアの森林・土地利用部門の温室効果ガス削減量のうち各国、地域が占める割合



方策の構成要素

方策8は、(1) 持続可能な森林管理、(2) 持続可能な泥炭地管理、(3) 森林火災のモニタリング・抑制、の3つの小方策から構成される。

8.1 持続可能な森林管理

8.1.1 無計画な森林伐採の減少
8.1.1.1 移動耕作の減少
8.1.1.2 違法伐採に依存する住民の支援・教育
8.1.1.3 森林管理ユニットの導入
8.1.1.4 地域参加型森林管理
8.1.2 土地利用政策による森林伐採の減少
8.1.2.1 土地利用規制の創設
8.1.2.2 土地開発権の交換
8.1.3 木材生産用森林の劣化防止
8.1.3.1 森林管理ユニットの導入
8.1.3.2 森林利用認可証の導入
8.1.3.3 影響の少ない木材切り出し方法の普及
8.1.3.4 地域参加型森林管理
8.1.4 森林炭素貯蓄の促進
8.1.4.1 森林再生の促進
8.1.4.2 民間による植林
8.1.4.3 荒地への植林
8.1.4.4 荒地でのプランテーション

8.1.1 無計画な森林伐採の減少：無計画な森林伐採を減らすためには4つの方法がある。一つ目は、移動耕作を減らすことである。移動耕作は、森林を農地へと開拓し、しばらく耕作を行った後、土壌が劣化すると再び移動して新たな土地を農地へと開拓するものであり、森林伐採の要因の一つとなっている。同じ土地で継続的に農業を営む技術・知見を普及し、農民の定住化を促進することが森林伐採の減少につながる。二つ目は、違法伐採に依存する住民への支援・教育である。違法に伐採を行う住民に対し、雇用創出や経済支援などを目的とした森林管理や植林事業を展開し、経済的自立に向けた支援と適切な教育を実施することが違法伐採の防止につながる。三つ目は、森林管理ユニットの導入である。森林を複数の区画に分け、区画ごとに一つの管理ユニットを設立する。これにより、無計画な伐採や違法伐採を防ぎ、広大な森林を管理することが可能になる。最後に、地域住民を巻き込んだ森林管理の実施が挙げられる。特に、違法伐採のリスクが高い地域において、住民と共に森林区域の境界線を決めたり、植林をしたりすることにより、森林管理へのインセンティブを高め、同時に、森林の重要性と適切な管理技術・知識の習得が期待される。

8.1.2 土地利用政策による森林伐採の減少：土地利用規制を導入すること、さらには、森林伐採の許可証を導入し厳しくかつ柔軟に管理することが、森林伐採を減らすと考えられる。具体的には、開発が許可されているが開発予定がない場合は開発許可を取り下げたり、許可対象を泥炭地上の森林から非泥炭地上の森林へと変更するなどにより、森林伐採に伴う排出を抑制できる。また、森林の保護・保全の権利を明確にしたうえで、非保護区に属する森林地域を保護区へ変更するなど、状況に応じて柔軟に変更することも森林伐採の減少をもたらす。また、すでに開発されている森林は農地へ転用するなど土地の開発権の移転（土地交換・ランドスワップ）も有効に機能すると考えら

れる。

8.1.3 木材生産用森林の劣化防止：木材伐採後に残された森林の質が劣化し、将来の木材生産性の低下やバイオマス生長に被害をもたらすことがある。森林の劣化防止には、前述のような森林管理ユニットの導入や地域参加型の森林管理も有効である。それに加えて、森林利用許可証を導入し、そのもとで木材伐採に伴う土壌のかく乱を抑えるなど、伐採方法やその後の維持管理を改善することが、森林劣化を抑え、CO₂排出の削減・吸収の増加をもたらす。

8.1.4 森林炭素貯蓄の促進：これまでは森林伐採・劣化の減少について述べたが、以前森林であったが劣化荒廃した土地において炭素貯蓄を促進することも重要である。つまり、森林を再生したり、生産性が低い土地、劣化した土地への植林は炭素貯蓄量の増加をもたらす。民間も植林やプランテーションの実施により重要な役割を果たすことができる。植林技術を普及し、民間が荒廃した土地へアクセスしやすいような仕組みづくり・財政的支援が、民間の植林事業への参入を促進すると考えられる。

8.2 持続可能な泥炭地管理

8.2.1 泥炭地管理方法の改善
8.2.1.1 泥炭開発の禁止
8.2.1.2 泥炭地開墾のための火入れ防止
8.2.1.3 泥炭地の水管理
8.2.1.4 泥炭地における土壌環境の改善
8.2.2 泥炭地の再生
8.2.2.1 非管理下の泥炭地火災の防止
8.2.2.2 泥炭地の水環境の改善
8.2.2.3 泥炭地への植林

泥炭地は、主に熱帯地域で過去に長い時間をかけて有機物が堆積して形成された地層であり、多くの炭素を含んでいる。水位が高く、比較的脆弱な地盤であるが、泥炭の上には樹木が生殖したり農地として利用されていたりする。農地やプランテーションとしての利用を目的に、泥炭地が排水され、開墾されることがある。排水後は、土壌中の炭素が腐敗（酸化）することにより長期に渡ってCO₂が排出される。近年は、パームオイルの需要の増大を背景とした泥炭地開墾が重要な問題となっている。また、火入れが延焼して泥炭地火災が起きたりするケースもある。

8.2.1 泥炭地管理方法の改善：改善策として、まず泥炭地を適切に管理することが挙げられる。つまり、3m以上の深さをもつ泥炭地の掘り起こしを禁止し、深さ3m未満の泥炭地では開墾を許すことで、農地やプランテーションの需要に合わせた管理ができる。次に、ゼロ火災を目指した泥炭地開墾のための火入れの防止、泥炭地の水管理も具体策の一つである。これらの火入れ防止や水管理の実現のためには、経済的・非経済的なインセンティブを与える仕組みの導入も必要である。最後に、土壌環境を改善することも土壌劣化を抑え、温室効果ガス排出を抑制することにつながる。泥炭地の土壌環境が良くないと、土壌が劣化し、温室効果ガスの排出をもたらすので、堆肥や土壌改良剤を散布するなどして、土壌を管理・改良していくことも排出抑制につながる。

8.2.2 泥炭地の再生：泥炭地の回復・再生のためにはまず、泥炭地での管理されていない火災を防止し、水環境を改善する



ことが挙げられる。水環境を改善するためには、水路をふさいだり、水質の規制を設定するなどが効果的である。また、伐採された泥炭地への植林も泥炭地の回復につながる。

8.3 森林火災のモニタリング・抑制

- 8.3.1 森林開墾のための火入れ防止
 - 8.3.1.1 インセンティブを与える仕組みの導入
 - 8.3.1.2 トラクターや機械の貸出
- 8.3.2 非管理下の火災の防止
 - 8.3.2.1 早期警報用モニタリングシステムの導入
 - 8.3.2.2 森林火災消火設備と森林警備隊員の配置

8.3.1 森林開墾のための火入れ防止：森林火災も重要な排出源であるため、火災管理の徹底が求められる。農地拡大のための火入れが延焼し火災となることがある。火入れを管理するための規制を創設したり、インセンティブを与えたりするなどして、火災管理を強化することが求められる。また、トラクターや森林伐採のための機械を貸し出すことで、森林開墾のための火入れを抑止することが可能である。



8.3.2 非管理下の火災の防止：管理されていない土地における火災を防止するためには、早期警報用のモニタリングシステムの導入や森林警備隊員の配置が有効な方法である。一方で、地域コミュニティにおいて森林火災の防止に努め、消火活動教育を実施するなど地域レベルでの活動も求められる。

土地利用管理と再生可能エネルギー

アジアが低炭素社会に向かうためには、太陽光・風力といった再生可能エネルギーを活用していくことが重要である。その一方で、太陽光発電やエネルギー作物等のバイオマスなど、一部の再生可能エネルギー資源は、生産及び利用に一定の土地を必要とする。そのため、土地利用により利用可能な再生可能エネルギー量は大きく左右される。本研究プロジェクトでは、土地利用の空間情報に基づく土地利用区分（森林、耕作地、サバンナ、都市など）と、土地利用区分別の再生可能エネルギー種それぞれに利用可能な面積割合の想定に基づき、再生可能エネルギーポテンシャルを推計している。

表は、再生可能エネルギー導入の優先度を高めて森林や耕作地にも太陽光発電や陸上風力発電設備を導入したと想定してポテンシャル量を評価したものである。デフォルトは、本研究プロジェクトの評価結果であり、全耕作地ケースはアジア域内のすべての耕作地に太陽光発電ないしは風力発電を設置すると想定したケース、全森林ケースはアジア域内の森林をすべて太陽光発電ないしは風力発電に転換すると想定したケースである。なお、全耕作地ケース、全森林ケースともに、その他の土地利用区分（都市など）についてはデフォルトと同じとした。

本研究プロジェクトの想定に基づくと、再生可能エネルギー

の導入ポテンシャルはアジア全体で太陽光発電が8,672TWh/年、陸上風力発電が33,744TWh/年と評価された。これは、なりゆきシナリオにおける2050年のアジア全体での一次エネルギー消費量（99,620TWh/年）のそれぞれ9%、34%にあたる。耕作地や森林を太陽光発電ないしは風力発電へ転換することによって、利用可能なポテンシャル量は増加し、風力発電では耕作地ないしは森林すべてに設置する場合にはデフォルトケースのおよそ2倍までポテンシャルは増加する。太陽光発電では全耕作地に設置すると見込むとデフォルトケースの110倍、全森林ケースでは187倍まで増加する。

森林や耕作地に再生可能エネルギー設備、特に太陽光発電設備を広げていくことで、将来の一次エネルギー消費量を十分まかなえるだけのエネルギー供給を確保することは可能である。しかしながら、再生可能エネルギー導入を優先して森林破壊を進めることは、森林に貯留されている炭素量を減らし、土壌をかく乱してCO₂の排出をもたらすことになる。耕作地についても、アジア地域では依然として食糧供給が十分ではない地域もあり、安易な再生可能エネルギー設備の拡大は、アジア低炭素社会に対して負の影響を及ぼす可能性が高い。しかしながら、方策8に示した持続可能な森林・土地利用管理を強化し、耕作地ではあるが耕作放棄地や遊休農地と

なっている土地や森林の中でも日射条件のよい一部の土地に限って再生可能エネルギー設備を導入することは、森林保護と食糧供給の確保、低炭素型エネルギーの拡大を両立させる効果的な対策となると考えられる。

(芦名秀一)

太陽光発電及び風力発電のポテンシャル評価結果（単位：TWh/年）

	太陽光発電			陸上風力発電		
	デフォルト	全耕作地ケース	全森林ケース	デフォルト	全耕作地ケース	全森林ケース
アジア	8,672	959,119	1,622,672	33,744	56,166	68,478
地域別						
日本	50	1,958	20,357	185	432	2,829
中国	4,266	323,357	453,471	18,777	30,632	33,185
インド	1,051	310,047	185,540	2,471	5,468	5,159
東南アジア ^{*1}	1,587	180,964	856,686	6,766	10,405	18,398
その他アジア	1,717	142,793	106,616	5,545	9,228	8,908

^{*1} 東南アジアおよび日本と中国を除いた東アジア

^{*2} インドを除いた南アジアおよび太平洋島嶼国



方策9

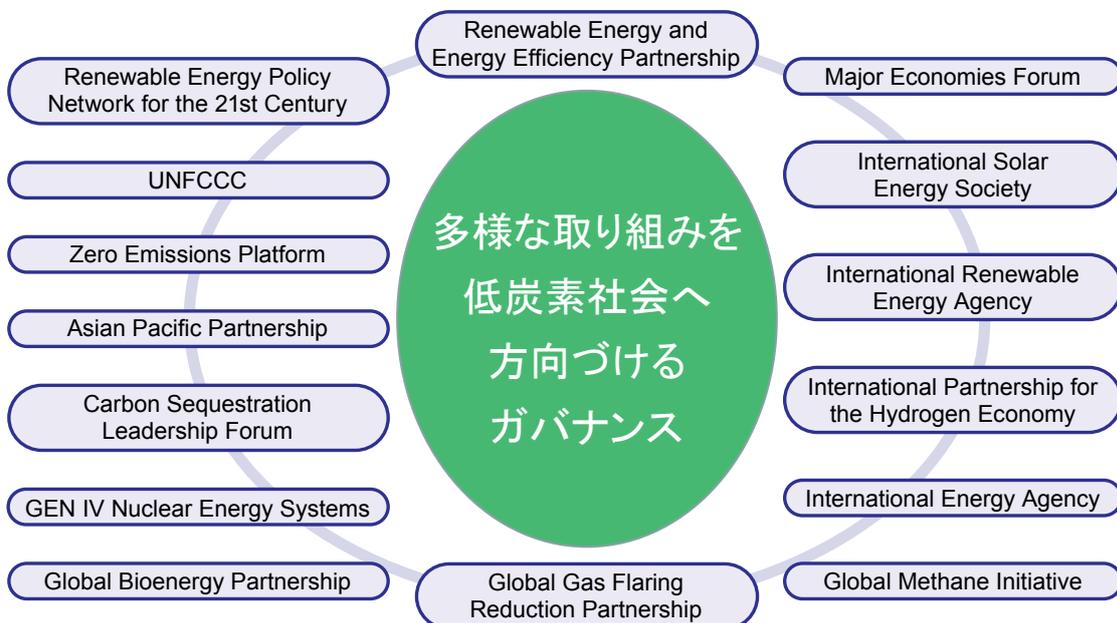
低炭素社会を実現する 技術と資金

概要

アジアで低炭素社会を早期に実現するためには、低炭素社会に資する既存技術の普及や市場化、並びに革新的技術の開発が不可欠である。そのためには、各国政府が自国の産業セクターが安心して革新的技術開発に投資できるような環境を整備することが必要である。さらに、自国の民間企業が低炭素製品を開発する上での主要な役割を担う効果的な技術を開発し、一般市民への普及が行えるような制度をアジア地域レベルで構築していく必要がある。しかしながら、現在は、技術移転や普及を阻む制度的、経済・資金的、技術的障害が数多く存在する。アジア各国において研究を重ねてきた結果、これらの障害は、技術また国と地域によっても大きく異なっていることが判明した。例えば、中国、インド、タイにおいては、風力やバイオエネルギー発電など産業用の普及・移転段階の技術に関しては、特許取得コストが障害になっているケースや、輸入された技術に関する現地における専門知識の欠如や運営・保守のノウハウ

やスキルの欠如が障害になっているケース、また、LED照明や太陽光発電など事業者・個人用の普及・移転段階の技術に関しては、市場のサイズが小さいことや海外からの投資が極めて少ないことが障害になっているケースが見られる。これらの障害は、技術開発段階、技術普及・移転段階においても異なることから、政府は、民間企業や関連する国際機関等と連携し、技術のライフサイクル各段階によって必要な資金・技術政策・制度をそれぞれ検討する必要がある。

また、民間資金の規模が低炭素技術の早急な移転・普及の鍵を握る。かつて、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）及び京都議定書のもとでは、地球環境ファシリティ（GEF）を暫定的な資金供給機関として、途上国に対して資金供給を実施してきたが、「特別気候変動基金」「低開発国基金」「適応基金」の3基金が設立された後も、資金不足や、限られた資金の用途に関する優先順位の付け方など多くの課題を抱えてきた。この状態を払拭するために2009年コペンハーゲン合意で了承され、2010年



に設立されたグリーン気候基金（GCF）では、先進国は、2020年までに毎年年間1,000億ドルを拠出することになっている。しかし、この「毎年1,000億ドル」という資金量は、従来の公的資金拠出量とは桁違いに多い資金量であり、この資金を確保する方策が模索されている。これに加え、気候変動枠組条約という多国間交渉の進捗が思わしくない状況において、低炭素社会構築に必要な投資は、急速な経済発展が続いているアジア地

域においてとりわけ緊急性を要しており、多国間交渉の進展を待つことなく、アジア地域独自の資金獲得方法を検討する必要がある。

技術や製品の普及に必要な資金は、従来型の先進国から途上国への援助では賅いきれない。国連気候変動枠組条約や政府開発援助として先進国が拠出する資金に加え、様々な公的・民間資金をアジア域内で動員する方策が求められる。

方策によりアジアはどう変化するか

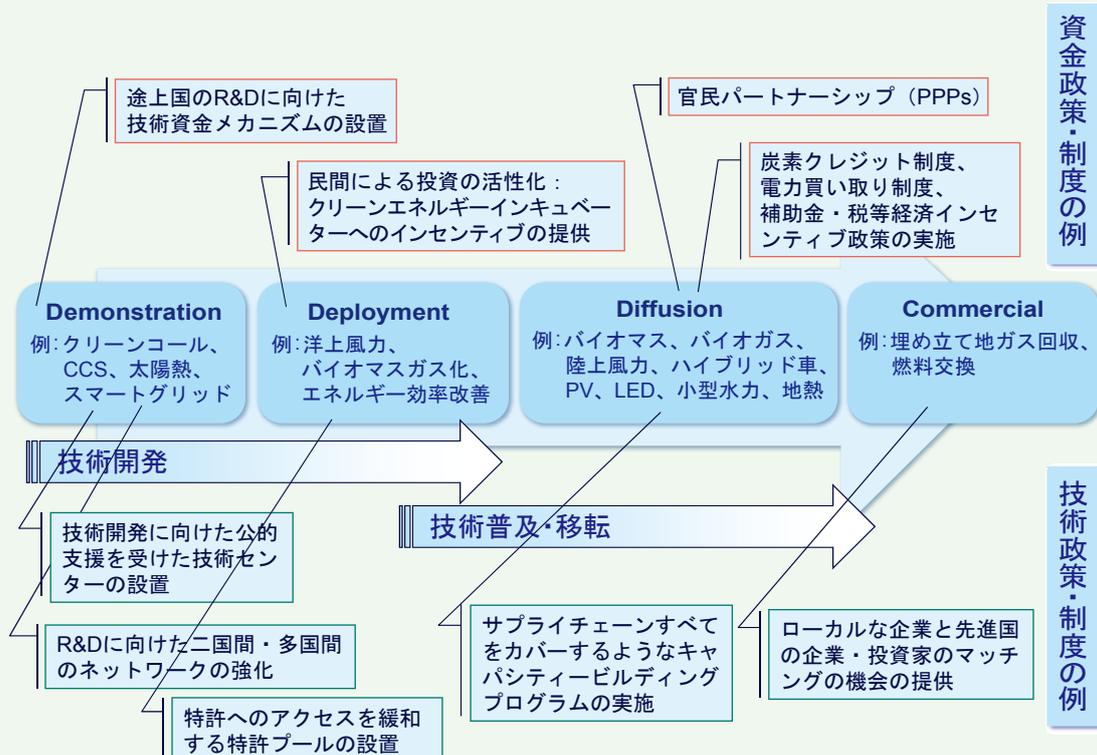
2012年のUNFCCC COP18/CMP8において、国連環境計画（UNEP）、国連工業開発機関（UNIDO）、及びUNFCCC事務局が共同で運営する気候技術センター・ネットワーク（CTCN）が立ち上がった。政府機関が技術を有する民間企業や政府系金融機関との連携を促すことで、多くの民間企業において積極的にCTCNのネットワークによる情報やデータの共有が急速に進むような仕組みの構築が期待される。

低炭素社会に進むアジアにおいて注目すべき点は三点ある。一点目はアジア域内の各国・地域においてそれぞれの特性に応じた技術の開発と普及が進む点である。例えば風力発電に関しては、中国とインドで普及が進んでいる。一方、事業者や個人に向けてのPVやLEDという技術に関しては日本で普及が先行し、中国やインドの市場で普及するにはもう少し時間がかかる。バイオマスやバイオガス発電の技術に関しては失敗を重ねながらもプロジェクトが進行している東南アジアの各国で普及が進むと考えられる。クリーンコール、CCS、太陽熱、スマートグリッドという開発段階の技術に関してはアジア地域で技術が進んでいる地域が主導しながら域内のネットワークをしっかりと構築することによって、技術が遅れている地域においても開発・普及までの時間が短縮できると考えられる。

二点目は地域内のネットワークを強化することによって、

従来型の先進国から途上国への一方的な技術移転というモデルから途上国間の技術移転がより進むと考えられる点である。低炭素技術の途上国間の移転は今までもある程度進んでいるがこれからはさらに加速すると考えられる。三点目は経済が成長するアジアにおいてこれから低炭素技術や製品への需要が増えることが予想される点である。今まで日本を含めた一部の先進国の消費者を対象としていた省エネ型の商品もこれからの消費者の間の潜在的なニーズの高まりとともに経済的なインセンティブを導入すれば今までは対象にならなかった地域で普及する可能性がある。

今後、アジア域内の多くの国では、順調な経済発展が持続し、国民がゆたかな生活を送るようになるであろう。このような水準に至った国から、先進国の公的支援からの脱却を実現すると同時に、環境意識が成熟していくと考えられる。環境意識の高まりは、アジア各国政府による環境配慮型の投資に企業を誘導するようなインセンティブを与える契機になる。また、化石燃料に対する補助金撤廃や炭素税導入が各国内で行われ、それによる税収も新たな技術開発に投資される。このような政策導入の結果、エネルギーの価格が徐々に上昇し、低炭素型製品・ライフスタイルを市民が志向するようになることが期待される。



技術また国と地域によって技術普及の障害が大きく異なる
技術のライフサイクル各段階によって必要な資金・技術政策・制度の例



方策の構成要素

方策9は、(1) 民間企業が安心して技術開発するための環境整備、(2) 技術開発や普及促進を支援するための基金設立、(3) 低炭素製品を購入する意識の高い消費者の選好、の3つの小方策から構成される。

9.1 民間企業が安心して技術開発するための環境整備

- 9.1.1 知識と技術の共有の強化
- 9.1.2 技術の普及を促進するために制度的環境を強化
- 9.1.3 経済インセンティブ政策の実施

低炭素技術の開発や普及に必要な制度構築はあらゆるセクターにまたがることから、関連する国際環境条約や、セクター別の基金等、用途に応じてあらゆる公的資金や民間資金を適切配分していく管理方法も合わせて検討する必要がある。しかしながら、炭素隔離貯留（CCS）やクリーンコールなど開発段階の技術の普及には経済インセンティブ政策の実施だけでは不十分であり技術ネットワークの強化・確立が必要である。特に先進国は、各国の民間企業もつパートナーシップを活かしてプロジェクトを行い、新興国、後発開発国それぞれの発展段階に応じて、産業を発展していくために必要な技術の特定を行っていくことが求められる。さらに、経済インセンティブや補助金等資金援助メカニズムの導入と共に、技術の標準化が有効となりうる。その際は、先進国が保有する有用な環境技術であって途上国に提供可能な技術を第三者機関等が一元管理して情報提供する仕組みと、国家間の低炭素技術・製品の評価指標・基準の標準化の促進、国際社会全体、及びアジア地域の民間企業による技術ネットワークによる連携の強化が必要である。

アジア各国にとって望ましい低炭素社会を構築するうえで重要なのは、制度的、経済・資金的、技術的障害の克服に向けて新しい技術の開発の促進と現在ある技術の普及を促す包括的な政策及び制度作りを行うことである。

9.1.1 知識と技術の共有の強化：一点目は知識と技術の共有である。特に新しい技術の開発段階において、研究機関間のR&Dネットワークを強化すると共に、技術デモンストレーションパートナーシップ構築も必要である。アジア地域における技術協力は、特に国際的に資源の効率的利用に関わる低炭素化技術開発・普及を実現する上で重要となる。例えば、資源を繰り返し使用するシステムづくりを実現するためには、国際機関や政府等の協働による気候帯に即した建築コードや業務機器に対するエネルギー効率基準を設定する支援を通じた、アジアの他国や世界の他地域への低炭素化技術の展開が求められる。

9.1.2 技術の普及を促進するために制度的環境を強化：二点目は技術の普及を促進するために制度的環境を強化することである。専門家育成・技術力強化のためのキャパシティビルディングの強化、特許を含めた知的財産権に関する知識の強化や産業別の技術協力プログラムの実施が必要になる。とりわけ、持続可能な森林・土地利用管理の実現にあたっては、違法な伐採を阻止し、持続可能な森林資源の運営を達成するために、人材育成に向けて国際協力活動を推進することが重要となる。

9.1.3 経済インセンティブ政策の実施：三点目は民間の投資を活発にするための炭素クレジット制度、電力買い取り制度、補助金・税など経済インセンティブ政策の実施である。さらにインセンティブ政策を実施するだけでなく、国内のプロジェクト実施者と海外の投資家のマッチングや投資リスクの緩和策の

策定など民間の資金が流れやすくなる方策を実施する必要がある。このことは、バイオマス資源の技術移転の際に有効となる。例えば、国際的にバイオマスエネルギー源や利用技術に関する研究開発を支援するとともに、成功事例を元に技術移転プログラムによる他地域への移転の後押しや、先進的なバイオマス利用技術や利用手法の導入と利用について他国からの投資を呼びこんで普及を後押しするような制度間協調だけではなく、技術の移転を進めるとともに、受け入れ国側において技術の定着のために税制的・制度的支援を行う事によっても一層の再生可能エネルギー普及が見込まれる。

9.2 技術開発や普及促進を支援するための基金設立

- 9.2.1 政府開発援助のさらなるグリーン化
- 9.2.2 民間からの投資拡大を誘発する公的資金
- 9.2.3 民間投資インセンティブの少ない分野を支援するためのアジア地域資金メカニズム

9.2.1 政府開発援助のさらなるグリーン化：アジアの途上国においては、再生可能エネルギー普及やエネルギー効率向上のためのプロジェクトがいくつか実施されてきたが、これらは、貧困撲滅のための経済発展を目標とした基本インフラを整備するための政府開発援助（ODA）や、国際機関による支援であり、その中には、化石燃料の利用を促進するエネルギープラント建設も多く含まれていた。

アジアにおける低炭素化交通システムや低炭素エネルギーシステムの確立に向けては、途上国におけるインフラ整備において政府開発援助のさらなるグリーン化が必要不可欠である。

例えば、低炭素交通の実現に向けては経済成長の初期段階から将来ビジョンを定めた上で、低炭素交通システムのインフラ投資をすることが重要となる。その際、政府開発援助資金を、沿岸部や内陸部の鉄道や水運を軸とした低炭素交通システムのインフラ整備に優先的に利用できるように配慮することも求められる。

また、再生可能エネルギーシステムを構築するためにも、規格の統一などを進めるなどの国際的な電力融通のためのインフラ整備が不可欠である。その一方で、農村の多いアジア地域では、地域のエネルギー資源を活かせるような、農村の自律的エネルギー供給システムの確立も推進されていく必要がある。

こういった事を実現させるためには、資金の経済効率性だけではなく資源や炭素の効率性の観点から評価できるような支援評価制度の導入が有効である。

9.2.2 民間からの投資拡大を誘発する公的資金：それと同時に、民間からの投資拡大を誘発する公的資金の使い方が重要である。今までに気候変動緩和のための資金供給量の試算がなされてきているが、いずれの試算結果においても、公的資金と比べて民間資金の資金量は1桁から2桁多く、民間資金を含めた資金フローを検討することの重要性が改めて認識されるようになっている。

低炭素社会は、一旦構築されれば、低炭素でない社会と比べて、使用するエネルギー量や資源量が格段に少なくなるため、維持費用は安く済む。したがって、長期的に見れば、低炭素社会への投資は、経済的に見ても合理的な選択である。しかし、一般的に、アジア各国の民間企業が低炭素技術への開発や商業化された低炭素技術の利用を妨げている要因は、初期投資費用の高さである。民間企業がいかに早期にエネルギー効率化を図り、再生可能エネルギー拡大に向けた技術開発を実施し、省工



ネ型の製品を製造し、販売するかが、その国が温室効果ガス削減目標を達成できるかの鍵を握る。したがって、政府の役割としては、民間企業それぞれが抱える資金的、経済的障害を克服するために、企業に対する技術開発支援制度や、初期投資の支援、開発された新たな技術の市場化支援措置を設けるなど、財政面から自国の産業セクターが安心して革新的技術開発に投資できるよう支援を実施することが挙げられる。

また、産業部門および家庭部門における省エネ意識が多くのアジア諸国で高まらない原因の一つに、エネルギー価格の安さがある。これは、産業育成や社会保障の観点から、政府が意図的に、エネルギー価格を安価な水準に据え置いているためであるが、低炭素社会構築に向けて民間投資を誘発するためには、むしろ望ましくない施策として指摘されている。今後、これらの国においては、エネルギー価格を徐々に引き上げていく必要がある。

さらに、民間資金を効果的に引き出すために公的資金を用いる工夫が不可欠である。アジア地域内での低炭素社会構築に関するインフラ整備への民間投資を政府がバックアップする制度や、省エネ・代エネ製品が他の製品と比べて優遇される制度の構築等が有効である。

9.2.3 民間投資インセンティブの少ない分野を支援するためのアジア地域資金メカニズム：大規模なインフラ整備や、新たな製品開発・製造は、民間投資が進みやすい分野であるため、民間資金の投資が期待でき、また、そのために、2国間の資金支援も得られやすい。他方で、森林保全や植林、産業化していない低開発国における気候変動緩和策は、利潤を期待しづらい分野の活動であるため、一般の民間企業は投資しづらく、2国間援助も予算がつきづらい。このように、民間投資が期待しづらい分野の資金的支援のために、多国間あるいは地域レベルでの資金供給メカニズムが必要となる。アジア開発銀行等、地域レベルの国際組織を活用し、市場原理では資金が集まりづ

らいところを手当していく必要があるだろう。

なお、国連気候変動枠組条約およびその下に設立されたGCFでは、あくまで先進国（附属書Ⅱ国）が途上国に対して支援をすることが前提とされているが、本稿で示した資金メカニズムを実現するためには、アジア地域のすべての国が、それぞれの経済水準に応じて資金供給に協力する必要がある。すでにアジア諸国のいくつかの国は、経済的に先進国の水準に近づいており、今後、そのような国はさらに増えることが予想される。これらの国は、今後、今までの先進国と同様に、国際的な資金支援に依存することなく、国内で炭素税や排出量取引制度などを導入し、また、企業の低炭素化に向けた活動を支援していくことが求められる。まずは各国が自国内での資金の利用を見直し、必要に応じてアジア域内の支援を受けながら、持続的な経済発展と両立する低炭素社会の構築に向けて大きく前進させることが出来る。

9.3 低炭素製品を購入する意識の高い消費者の選好

9.3.1 環境教育の促進による消費者意識の変化

低炭素化技術の促進と普及、そしてそれを可能にする資金と同じく重要なのは環境教育の促進により賢い消費者を生み出すことである。

9.3.1 環境教育の促進による消費者意識の変化：例えば、市民は地元で生産された農産物を選好、持続可能な生産を認証された製品を選好することが求められる。また、バイオマス資源についても、地産地消を促すことにより、アジアにおける低排出な農業技術の普及や、持続可能な森林・土地利用管理にも重要な示唆がある。こういったことは住宅新築時に太陽光発電を設置したり、グリーン電力を購入するなどの、低炭素なエネルギー源を選好するといった事にも言えることである。

効果的な低炭素化技術制度の確立へむけて

コペンハーゲンCOP15の失敗により、法的拘束力ある温室効果ガス排出削減目標設定に基づいた制度設計が頓挫して以来、より広範な地域で温室効果ガス排出削減を可能にするためのツールとして、国際的な低炭素技術開発・移転の仕組みが求められてきた。低炭素技術に着目した国際制度が、気候変動枠組条約外で様々に展開される一方で、2012年になり、気候変動枠組条約主導のCTCN（Climate Technology Centre and Network）の設立が決定した。低炭素技術を保有する民間企業と政府や多国間開発銀行等とのパートナーシップにより、低炭素技術の効果的普及を促そうというのがその第一の目標である。とはいうものの、その制度設計の詳細はまだ先行き不透明である。

本プロジェクトでは、これまで低炭素技術ガバナンスに注目して研究を行ってきた。その研究成果は、CTCNの制度設計に示唆を与えている。

第一に、一言で「低炭素技術」というものの、技術は極めて個別的・細分化されたものであることから、その制度設計も、①扱う技術、②技術のライフサイクルの段階、③対象とする国、といった少なくとも3点において、個別対応を行える柔軟性のあるネットワークとすることが重要であるという

ことである。例えば技術移転を促進するために必要な制度は、太陽電池と風力発電とバイオガスでは異なるし、インドとインドネシアとでも異なる。そもそも利用するための需要の高い再生可能エネルギーの種類さえ、国あるいは国内の地域によっても異なる。

第二に、既存のネットワークがあるものは、そのネットワークを活用することを考えることが肝要であることである。すでにいくつかの業界では、地域的、あるいは国際的な産業部門のネットワークが構築されている。そうしたネットワークの上に立ちながら、低炭素技術ということに焦点を当てる形で、問題解決のためのネットワークを構築することが求められている。

第三に、適切なステークホルダーをCTCNに巻き込むことである。重要となるステークホルダーを常に問題解決の仕組みに入れ、ともに問題解決策を探ることは、継続的にレジリエントなガバナンスを行ううえでも非常に重要となる。その意味では、国家や産業界だけではなく、モニタリングや能力構築における国際機関やNGOの役割も看過してはならない。

CTCNと呼ばれる以上、ネットワークの長所を生かした制度設計が求められている。

（蟹江憲史）



方策 10

透明で公正な低炭素 アジアを支えるガバナンス

概要

アジア各国が低炭素社会を実現することでその恩恵を受用するには、政府に加え、産業界、市民、国際社会などのあらゆる主体が低炭素社会実現のためのビジョン・戦略を共有し、それぞれの役割をコーディネートしながら低炭素社会実現のためのオプションを立案・実施・評価していくことが不可欠である。従来は、京都議定書のもと配分された温室効果ガスの削減目標を達成させるために、関連する様々な政策の枠組みを構築し、それらを実施していくための国家の役割が多く検討されてきた。しかしながら、低炭素社会構築を実際に行っていくためには資源や負担の再分配が不可避であるため、政治的利害が大きく絡み、国家が効果的に政策を立案し、実現することが困難な場合が見られた。さらに、今や、法的削減義務を持たない途上国の温室効果ガスの排出量は、経済発展に伴い大きく増加していることから、国連気候変動枠組条約が施行された時期における衡平性の概念に基づいた排出削減目標達成に向けた議論や取り組みを続けるままでは、2℃目標の達成は不可能である。また、「何が衡平な削減なのか」については、「衡平」をどう考えるかが国により、着眼点により大きく異なる。従って、2℃目標を達成させるための温室効果ガスの長期大幅削減のための低炭素ガバナンスには、国家のコミットメントも重要であるが、国家以外のステークホルダーがそれぞれの能力に応じ主体的にコミットメントしていくことが重要である。また、これまでセク

ター別に構築されてきた枠組みを低炭素政策として統合的にメインストリーミングしていけるような制度設計やそれらに依拠した行政によるマネジメント体系を構築していく必要がある。

特にアジア諸国では、低炭素社会に向けた行動計画等を提示している国は多いが、それらの計画は実行に移されなかったり、実行されても効果が限定的であることが多い。法整備やガバナンスが不十分なため、行政による不正・汚職等が発生し、物理的・経済的・人的資源を有効に活用できずにいる。また、行政におけるマネジメント理念・概念の不足により省庁間で同じような施策が重複していたり、情報共有が不十分である場合も多い。

このような状況を鑑みれば、アジアにおける低炭素社会の確立に向けた国家レベルの取り組みとして、パブリックセクター（中央政府・地方政府（自治体））における透明性・説明責任の確立・汚職対策等がまず前提として必要となる。一方、国際社会には、国家レベルにおけるこれらの取り組みを加速化させるための支援が求められている。例えば現在世界銀行等を中心として、国別パブリックセクターの政策と制度を評価する枠組みが構築され、国際支援制度への反映が試みられている。このように、国際社会がアジア諸国のパブリックセクターのマネジメントの改善を促す等、その役割を強化することは、方策1から9で提唱されている政策・施策を実現するための大きな一歩となるだろう。



写真提供：国立環境研究所 久保田 泉



写真提供：国立環境研究所 久保田 泉

また、アジア諸国には、後述の通り各種政治体制が混在する特徴があるが、持続可能な発展のみならず、健康被害の削減や貧困の削減等の開発目標も念頭に置いた政策の立案と実施が求められている点は、程度の差こそあれ大きく共通しており、温室効果ガス削減と、開発目標達成間に整合性のある政策等の立

案と実施においても、国家間政策協調が求められている。

さらに、官と民の関係において、従来までは一部の官製企業や民間企業に対して過度の保護等がなされることがあったが、標準化や基準づくりにおいて科学性を充実させることにより、健全な官民のパートナーシップを確立していく必要がある。

方策によりアジアはどう変化するか

これまでのアジア諸国の発展は、地域内の国々の多様な政治体制によって支えられてきた。政治体制の多様性は、ヨーロッパ地域などには見られないアジアの特質といえる。一方で、各国の政治の進め方の現状に目をやると、他のアジアの特質に気づく。政治体制の違いはあっても、いずれの国も国家主導型、官僚主導型の発展の道をたどってきている。シンガポールの開発独裁による経済成長の成功や、戦後日本の経済発展、そして現在急速に発展を遂げている中国などはその典型である。こうしたアジアの特質は今後の低炭素型成長の基礎を構成すると考えられるが、他方で、低炭素社会へと世界規模で展開していく中で、国家主導、官僚主導型の政策過程は変化を遂げることになるだろう。

国際制度は、アジア各国で低炭素社会を構築することが今後の発展の大前提であるという、共通認識（規範）を浸透さ

せることにつながるものである。共通認識に基づいた低炭素政策協調は、各国の体制の違いを超えて、共通の政策措置を域内に広げていこう。ある国での政策措置の成功（例えばコストをかけずに効果を得るような成功例）は、その政策措置が実行可能であり、効果があることを示しながら、政策協調のメリットを増幅させていく。また、官民パートナーシップ（PPP）の強化や、それを通じた標準化の進展は、次第に国家以外のステークホルダーの影響力や存在感を高め、あるいはステークホルダーの国境を越えたネットワークが強化されることで、低炭素社会へ向けた一層の推進力となっていくであろう。こうして、低炭素化はアジアの人々の行動の中に浸透し、それが国家を超えたステークホルダーの連携へとつながっていくことになる。

方策の構成要素

方策10は、(1) 行政マネジメント枠組み構築、(2) 公正な市場原理に基づいた企業活動、(3) 環境政策・技術リテラシー向上、の3つの小方策から構成される。

10.1 行政マネジメント枠組み構築

- 10.1.1 国際制度間の連携の強化
- 10.1.2 重層的ガバナンスの強化
- 10.1.3 政策移転と政策協調の強化

気候変動問題は、その政策的複雑性ゆえに国連気候変動枠組条約だけでなく、2国間、地域間、多国間レベルの数多くの国際制度が、国連の枠組みから離れたところで存在している。このことから、気候変動問題の解決に向けては、国連レベルのもとに統制された政策決定がなされる中央集権型ガバナンスではなく、様々な国際制度によって分散的にその問題解決の糸口を探るような「分散的ガバナンス（Fragmented governance）」が有効である。

例えば、首脳国会議や主要経済国フォーラム（MEF：Major Economies Forum）といった国際制度は経済的諸問題に特化した国際制度であると同時に、気候変動問題についても優先順位の高い問題として議論を進めている。また、アジア太平洋地域においても、アジア太平洋パートナーシップ（APP：Asian Pacific Partnership）を皮切りに、「エネルギー安全保障と気候変動に関する主要経済国プロセス（MEP）」、「東アジア気候パートナーシップ（EACP）」、日本が第17回締約国会議で提唱した、「東アジア低炭素成長パートナーシップ（LCGP）」などの枠組みが存在する。

低炭素アジア実現のためには、分散的に存在する国際枠組みによって、気候変動政策を多様な政策分野に浸透させるという意味での規範の拡大と浸透とが重要になっていく。この実現のためには、以下に挙げるような行政マネジメント枠組みが構築

され、強化されていく必要がある。

10.1.1 国際制度間の連携の強化：国連気候変動枠組条約の重要な機能の一つは、世界共通の認識や考え方を作り出していく、すなわち低炭素社会構築へ向けたビジョンを示していくことで、共通の規範を創出し、浸透させていくことにある。分散的制度はともすれば分裂的となる。これを防ぐため、環境政策とエネルギー政策を融合し、低炭素政策を多様な政策分野に浸透させるという、いわゆるメインストリーミングを行うことが必要となる。そして、ここで作られた共通の規範が様々な制度を介して共有され、それぞれの制度が衝突的ではなく、「相乗的」ないしは「協調的」に結びつくことが望ましい。そのようなガバナンスへと向かうためには、多様な行為主体の適切な配置が鍵を握る。また、行為主体の数が増えれば、存在する規範も多様になり衝突的な分散ガバナンスとなりえる。そこで、相



写真提供：国立環境研究所 久保田 泉



乗的ないしは協調的な規範を生み出すような行為主体間の連携を促し、制度間のリンケージを強化することが必要となる。

10.1.2 重層的ガバナンスの強化：国際制度の強化を担保する上では、グローバル・レベルだけではなく、リージョナル、ナショナル、ローカルといったレベルにも注目し、重層的なガバナンスを強化することが求められる。

現在、国連気候変動枠組条約のもとでは、開発途上国による適切な緩和行動（NAMAs：Nationally Appropriate Mitigation Actions）に関する議論が進められている。開発途上国から提出されたNAMAsの中には、モーダルシフトによる低炭素交通に関する施策も多く、交通部門での低炭素化の取り組みの今後一層の発展が期待される。それと同時に、国家レベルではなく、ローカルレベルでの適切な緩和行動（LAMAs：Locally Appropriate Mitigation Actions）といった考え方も発展しつつある。とりわけ、バイオマス資源の地産地消や低排出な農業技術の実現に向けてはローカルレベルでの施策が重要性を持つことから、今後はNAMAsとLAMAsを併用し、途上国の自主的な排出削減努力を促すことが重要となる。

10.1.3 政策移転と政策協調の強化：アジアにおける低炭素社会を実現する上では、税制度や土地計画の見直しなどの制度を整備する必要がある。そのためには、各国が連携した施策の導入や政策移転が求められる。例えば、スマートエネルギー供給システムの創設に関する知見を共有することにより、各国政府が低炭素社会実現の視点を加味した中長期的な政策を立案し、内外に向けて低炭素社会へ向かうことを示すことが可能になる。

税制度の見直しには、国内燃料税や炭素税の提案、実現や現行の燃料補助金の廃止といった政策を含む。例えば、運輸部門に対して炭素税をかけることで、自動車利用の便益を低くし、結果、モーダルシフトを促すことが可能になる。また、税の軽減や補助金などを通じた技術の普及支援によって、エネルギー効率の高い建築物の建設や、省エネ機器普及を促すことが出来る。さらに、特に途上国において創設されている化石燃料への補助金を段階的に廃止し、バイオマスエネルギーの競争力を高める一方で、補助金や税制優遇等により、バイオマスの高度利用を高めることもできよう。

土地計画の見直しは低炭素交通システム、資源の価値を最大限に引き出すモノ使い、バイオエネルギーのさらなる普及、そして持続可能な森林資源を維持する上で効果的な政策である。

例えば、新規の不必要な交通需要を回避するような都市計画により低炭素交通システムの構築が可能となる。また、低資源かつ長寿命を前提とした都市・国土インフラのデザインを行うことにより、資源の価値を最大限に引き出すことが出来る。さらに、これまでバイオマス生産により食糧生産が脅かされるといった事例が少なからず存在したが、適切な土地利用規制を行うことにより、エネルギー作物の過度の作付けなどを防ぐことが出来る。持続可能な森林管理を目指す上では、土地の区画整理を行い、利用について適切に管理することが求められる。これにより、森林を保護し違法伐採や無秩序な農地拡大を抑制することが出来る。

10.2 公正な市場原理に基づいた企業活動

- 10.2.1 産業界と協調した官民パートナーシップの促進
- 10.2.2 認証制度の構築

実際に低炭素技術を保有するのは企業であることから、効果的な枠組みを実現するためには、企業の参加が不可欠である。そのためには、産業界と協調した官民パートナーシップを促進し、認証制度を構築することで構成的な市場原理に基づいた企業活動を展開していくことが求められる。

10.2.1 産業界と協調した官民パートナーシップの促進：これまでのアジア地域における官民パートナーシップとしては、前述したAPPを挙げる事が出来る。この枠組みでは日本の他に、オーストラリア、カナダ、中国、インド、韓国、米国の7か国が参加し、建物および電気機器や再生可能エネルギーなどに関する低炭素化技術開発、普及、移転を目的とした官民によるタスクフォースが設立された。このように、政府や産業界が共同してパートナーシップを組むことは、技術の研究開発支援や普及支援制度を構築する上で大変重要な取り組みとなる。

10.2.2 認証制度の構築：低炭素技術の普及や移転に際しては、技術の標準化やコード及びラベル表示のスキームに関する最良事例の共有が有益である。とりわけ、ラベル認証制度については、国際的に資源の効率的利用に関わる技術開発等について研究協力をする事により、製品評価制度の構築が可能となる。このことは、新興国では、国の法実施体制が確立されておらず、行政的課題を多数抱えていることを鑑みれば、既存のラベル認証制度を効果的に利用することが重要である。例えば、気候帯に即した建築コードや業務機器に対するエネルギー効率





基準を設定する支援が考えられる。

また、その際に産業界と政府とが共同して製品評価制度を構築し、第三者的な評価システムを運用することにより、低炭素化技術に対して客観的かつ専門的な評価を与える事ができる。このように第三者的な評価システムの運用は、例えば資源の価値を最大限に引き出すモノ使いの実現に貢献できる。

さらに、こういった認証制度を既存の認証制度に関する制度枠組みと関連付けていくことも重要である。例えば、森林分野においては、国家以外の企業や環境NGOが主体となって運営する森林管理協議会（FSC : Forestry Stewardship Council）がある。FSCは、持続可能な森林管理の認証を行うことにより、海外で生産された木材でも消費者が環境や社会に大きな負荷をかけずに生産された木材を選択できる仕組み作りをしている。このような認証制度と競合しない形で、アジア地域における認証制度の普及が求められる。

10.3 環境政策・技術リテラシー向上

10.3.1 市民の環境意識の向上

10.3.2 政策レビューによる国家の環境意識の向上

行政マネジメントの枠組みの強化や公正な市場原理に基づいた企業活動の促進と並んで重要なのが、環境教育の促進により、市民のライフスタイルを低炭素化へと変革することである。また、政策レビューによって国家の環境意識を向上させて

いくことも、特に開発途上国の自主的な削減行動を強化させる上でも不可欠である。

10.3.1 市民の環境意識の向上：例えば、環境教育の強化によって、市民が積極的に鉄道や水運といった公共交通機関を選択するといった意識の変革効果が期待できる。こういったことは、資源の価値を最大限に引き出すモノ使いにも言える事である。政府が物質消費の少ないライフスタイルの優位性を示したり、環境配慮および省エネルギーに関する市民の知識を強化することにより、より省エネルギー型の機器の購入や、リサイクル・リユース可能な製品の選好といった効果も期待できる。

10.3.2 政策レビューによる国家の環境意識の向上：これまで挙げた施策は、途上国の自主的な裁量によるところが大きい。そこで、政策レビューをすることにより、途上国の環境意識の向上を目指すことも今後重要になる。アジアの開発途上国における温室効果ガス排出削減努力に向けては、測定・報告・検証可能（MRV）な方法で行われるNAMAsが重要視されている。コペンハーゲン合意の中では、国別報告書や隔年報告書における測定・報告、またそれらを検証する国際評価・レビュー（IAR : International Assessment and Review）や国際協議・分析（ICA : International Consultations and Analysis）といった形でMRVの概念が具体化されつつある。このように政策レビューに関する知見の蓄積化によって、開発途上国に対して自主的な排出抑制行動を一層促すことも大変重要な取り組みになると考えられる。

アジア地域における炭素取引制度の現状と展望

国際社会は、人間活動を原因とする温暖化・気候変動問題が、人類社会の喫緊の問題であることを認識し、京都議定書をはじめとし、原因物質である温室効果ガス、特にCO₂排出量を抑制・削減する技術的手法や社会経済的政策・制度の研究開発と普及に努めて来た。一方、アジア地域は中国やインドや東南アジア諸国（ASEAN）の急速な経済発展により、世界の成長センターとなり、同時にCO₂排出量においても中国は第1位の排出国、インドも第4位の排出国となり、アジアは世界最大の温室効果ガス排出地域となった。

現在、アジア各国の政府は低炭素制度の構築に関して活発に取り組んでいる。そうした努力の中で、市場制度を活用したCO₂削減政策であるCO₂排出権取引制度の活用策は、アジア各国で注目されている。日本の場合、自発的炭素排出権取引制度「JVETS」を設立し、企業の自発的な炭素排出取引への参加を促している。また、2010年度から、東京都炭素排出権取引制度（Tokyo ETS）がスタートし、2011年度には埼玉県も炭素排出権取引制度を施行し、さらに首都圏1都3県8自治体の共同排出権取引制度の設立が検討されている。政府レベルでも、全国単位の炭素排出権取引制度の施行に関して議論が行われている。韓国では、京都議定書の排出量削減義務国ではないが、自発的に国としての削減目標を設定し、炭素排出権取引制度施行に関しても議論が行われてきた。2012年には炭素排出権取引制度の施行に関する法案が可決され、2015年からの実施を予定している。

しかし、日本と韓国を除いたアジア諸国には、炭素排出権取引制度に関する明確な計画は存在しない。中国とカザフスタンは、2013年から炭素取引市場を試験的に運営する計画であるが、本格的施行の時期に関してはまだ明らかでない。また、ほとんどのアジア諸国はCap-and-Trade方式ではなく、京都メカニズムであるクリーン開発メカニズム（CDM、Baseline and Credit方式）に依存して炭素排出量を削減している。そのため、日本の主導する二国間クレジット・プログラム（JCM）、アジア開発銀行ADBが主導するカーボン・マーケット・プログラム（CMP）、アメリカ国際開発局USAIDが主導する低炭素排出アジア開発プログラム（LEAD）などは、アジア諸国のCDM事業支援、炭素市場への参加へ向けたアジア各国の能力開発（Capacity Building）の支援に集中している。

アジア地域の炭素排出権取引制度の設計に関する研究は、欧州の炭素排出権取引制度（EU-ETS）に関する研究に比べて少ない。多くの研究はアジア地域の統合炭素排出権取引制度から予想される効果、炭素排出権市場の連結に関する研究などがメインになっている。しかし、現在、アジア各国の炭素取引市場がまだ十分に形成されていない状況を考えると、今までの研究だけではなく、地域協力制度の形成によるアジア地域炭素排出権取引制度の構築のための制度デザインに関する研究が必要である。

（松岡俊二）

アジア低炭素社会研究プロジェクト メンバー

プロジェクトリーダー	甲斐沼美紀子 (国立環境研究所)		
アドバイザーボード	廣野 良吉 (成蹊大学名誉教授)	河合 正弘 (アジア開発銀行研究所 所長)	
	李 志東 (長岡技術科学大学 教授)	西岡 秀三 (地球環境戦略研究機関 研究顧問)	
プログラムオフィサー	笹野 泰弘 (国際環境研究協会)		

S-6-1 アジアを対象とした低炭素社会実現のためのシナリオ開発

テームリーダー	増井 利彦 (国立環境研究所)		
	藤野 純一 (国立環境研究所) (プロジェクト幹事)	花岡 達也 (国立環境研究所)	
	高橋 潔 (国立環境研究所)	脇岡 靖明 (国立環境研究所)	
	金森 有子 (国立環境研究所)	芦名 秀一 (国立環境研究所)	
	藤森真一郎 (国立環境研究所)	朝山由美子 (国立環境研究所)	
	Diego Silva Herrán (国立環境研究所)	亀井 未穂 (国立環境研究所)	
	長谷川知子 (国立環境研究所)	Dai Hancheng (国立環境研究所)	
	Park Chan (国立環境研究所)	榎原 友樹 (株式会社E-KONZAL)	
	Hu Xiulian (能源研究所、中国)	Jiang Kejun (能源研究所、中国)	
	P.R.Shukla (インド経営大学院、インド)	Manmohan Kapshe (ポパール建築計画研究所、インド)	
	Aashish Deshpande (インド国立工業教育大学ポパール校、インド)	Rahul Pandey (統合汎用システム分析研究所、インド)	
	Rizaldi Boer (ボゴール農業大学、インドネシア)	Retno Gumilang Dewi (ワンドン工科大学、インドネシア)	
	Lee Dong Kun (ソウル国立大学、韓国)	Ho Chin Siong (マレーシア工科大学、マレーシア)	
	Ram M. Shrestha (アジア工科大学、タイ)	Bundit Limmeechokchai (タマサート大学、タイ)	
	Sirintornthep Towprayoon (エネルギー環境合同大学院大学、タイ)	Nguyen Van Tai (天然資源・環境保護戦略計画研究所、ベトナム)	
	松岡 譲 (京都大学)	倉田 学児 (京都大学)	
	河瀬 玲奈 (京都大学)	五味 馨 (京都大学)	
	Janice J. Simson (京都大学)	日比野 剛 (みずほ情報総研株式会社)	
	藤原 和也 (みずほ情報総研株式会社)	元木 悠子 (みずほ情報総研株式会社)	
	小山田和代 (みずほ情報総研株式会社)	伊藤 浩吉 (日本エネルギー経済研究所)	
	山下ゆかり (日本エネルギー経済研究所)	沈 中元 (日本エネルギー経済研究所)	
	松尾 雄司 (日本エネルギー経済研究所)	永富 悠 (日本エネルギー経済研究所)	
	柳澤 明 (日本エネルギー経済研究所)	柴田 善朗 (日本エネルギー経済研究所)	
	小宮山涼一 (東京大学)	明日香壽川 (地球環境戦略研究機関)	
	田村堅太郎 (地球環境戦略研究機関)	郁 宇青 (地球環境戦略研究機関)	
	Nanda Kumar Janardhanan (地球環境戦略研究機関)	倉持 壮 (地球環境戦略研究機関)	
	金 振 (地球環境戦略研究機関)	金子 慎治 (広島大学)	
	市橋 勝 (広島大学)	後藤 大策 (広島大学)	
	藤原 章正 (広島大学)	張 峻屹 (広島大学)	
	小松 悟 (広島大学)	Phetkeo Poumanyong (広島大学)	
	陳 晋 (北京師範大学、中国)	力石 真 (東京大学・カーネギーメロン大学)	

S-6-3 低炭素アジア実現へ向けた中長期的国際制度設計オプションとその形成過程の研究

テームリーダー	蟹江 憲史 (東京工業大学・国連大学 高等研究所)		
	井口 正彦 (東京工業大学)	亀山 康子 (国立環境研究所)	
	久保田 泉 (国立環境研究所)	森田香菜子 (慶応義塾大学)	
	鈴木 政史 (関西大学)	松岡 俊二 (早稲田大学)	
	Chaewoon Oh (早稲田大学)	竹本 和彦 (国連大学 高等研究所)	
	諏訪 亜紀 (国連大学 高等研究所)	Sohail Ahmad (国連大学 高等研究所)	
	Manu Mathai (国連大学 高等研究所)	Joni Jupesta (国連大学 高等研究所)	
	Ping Jiang (復旦大学、中国)		

S-6-4 循環資源・資源生産性の向上による低炭素社会構築に関する研究

テームリーダー	森口 祐一 (東京大学)		
	村上 進亮 (東京大学)	橋本 征二 (立命館大学)	
	Tao Wang (立命館大学)	松井 重和 (みずほ情報総研株式会社)	
	吉川 実 (みずほ情報総研株式会社)	高木 重定 (みずほ情報総研株式会社)	
	村田 有紗 (みずほ情報総研株式会社)	南斉 規介 (国立環境研究所)	
	中島 謙一 (国立環境研究所)	谷川 寛樹 (名古屋大学)	
	石 峰 (名古屋大学)	Xin Tian (名古屋大学)	
	加用 千裕 (東京農工大学)		

S-6-5 アジアにおける低炭素都市・交通システム実現方策に関する研究

テームリーダー	林 良嗣 (名古屋大学)		
	加藤 博和 (名古屋大学)	中村 一樹 (名古屋大学)	
	伊藤 圭 (名古屋大学)	三室 碧人 (名古屋大学)	
	福田 敦 (日本大学)	伊東 英幸 (日本大学)	
	石坂 哲宏 (日本大学)	福田トウエンチャイ (日本大学)	
	Matthew Barth (カリフォルニア大学リバーサイド校、米国)	Sittha Jaensirisak (ウボンラチャタニ大学、タイ)	
	Varameth Vichiensan (カセサート大学、タイ)	Thaned Satiennam (コンケン大学、タイ)	
	Paramet Luathep (プリンスソククラ大学、タイ)	Nuwong Chollacoop (国立金属・材料技術センター、タイ)	
	Viet Hung Khuat (交通通信大学、ベトナム)	Nguyen Van Truong (交通通信大学、ベトナム)	
	Alleix Fillone (デラサール大学、フィリピン)	花岡 伸也 (東京工業大学)	
	中道久美子 (東京工業大学)	中村 文彦 (横浜国立大学)	
	岡村 敏之 (東洋大学)	奥田 隆明 (南山大学)	

2013年9月1日現在

シナリオタスクフォース

S-6-1 榎原友樹・芦名秀一・小山田和代 S-6-3 亀山康子・諏訪亜紀・井口正彦 S-6-4 橋本征二・松井重和 S-6-5 加藤博和・中村一樹

ご意見・ご質問は… アジア低炭素社会研究プロジェクト

2014年1月発行

独立行政法人国立環境研究所 社会環境システム研究センター

〒305-8506 茨城県つくば市小野川116-2 / E-mail: lcs_project@nies.go.jp

事務局：白石知恵 (国立環境研究所)

デザイン協力：国立環境研究所 地球環境研究センター 交流推進係

リサイクル適性の表示：印刷用の紙へリサイクルができます。
この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料【Aランク】のみを用いて作製しています。