



第3章 交通と環境

一ノ瀬友博（慶應義塾大学環境情報学部 教授）

3.1 交通と環境問題

21世紀は環境の世紀と呼ばれるが、交通と環境の関係は、交通機関の変化と注目される環境問題によって、大きく変わってきたと言えるだろう。例えば、1988年に発行されたOECDの報告書“Transport and the environment”¹⁾を訳して紹介した「交通と環境」では²⁾、陸上交通が環境に及ぼす影響として大気汚染と騒音を取り上げているが、地球温暖化についての記述は全く見られない。気候変動枠組条約が、リオデジャネイロで開催されたいわゆる地球サミットで採択されたのが1992年で、条約が発効されたのが1994年であった。当時は、日本国内でも、国際的にも、後でも述べる生物多様性条約ともにほとんど認知されていなかった。

一方で、2001年から2004年に世界交通学会の「交通と環境」分科会で行われた「都市交通と環境プロジェクト」(Comparative study on Urban Transport and the Environment: CUTE)では、研究対象を自動車に起因する排出ガスと騒音の環境問題に絞り、その中でも局地的な大気汚染と並んで、温室効果ガスを取り上げた³⁾。これは21世紀に入り、まさに地球温暖化が広く耳目を集めるようになってきたことを反映していると言えるだろう。

しかし、交通が及ぼす環境への影響は、実に広範囲である。先のCUTEのように、自動車と大気汚染、地球温暖化に焦点を当てたものは多いが、それ以外の交通機関と環境との関係が、まとめて議論されていることは極めて少ない。表1は、先に挙げたOECDの報告書¹⁾の表に、筆者が大幅に加筆修正して作成した主要な交通機関が環境に及ぼす影響とその内容である。

まず、大気への影響は、その影響の大きさから自動車が着目されることが多い

表1 交通機関の環境への影響(文献1の表1をもとに筆者が加筆修正)

主要な交通機関	大気	陸域	水域 (地下水を含む)	廃棄物	騒音, 振動	生物への影響	景観
海運 および 内陸水運	二酸化炭素 排出 大気汚染	港湾施設 建設 水運用の運 河の建設	港湾施設 建設 河川, 沿岸の 掘削および 浚渫	設備, 船舶の 廃棄	港周辺の 騒音	バラスト水に よる外来生 物の拡大 船の塗料に よる生物の 内分秘攪乱	自然海岸, 河川の喪失 船舶のある 風景
鉄道輸送	二酸化炭素 排出 大気汚染	鉄道, 駅の 建設	トンネル等の 建設による地 下水脈の分 断	設備, 車両の 廃棄	駅の周辺 および沿線 の騒音, 振動	生息地の 分断 衝突事故	自然景観・ 伝統的景観 の分断 新たな景観 資源の創出 (鉄橋や車両 等)
道路輸送	二酸化炭素 排出 大気汚染 (特に, CO, HC, NOx, 粉塵および 鉛のような 燃料添加物)	道路を含む 関連施設の 建設 道路建設に よる地形の 変更 道路建設の ための建設 資材の調達	トンネル等の 建設による 地下水脈の 分断 道路建設に よる水域の開 発および水系 の変更 地表水および 地下水の汚染	設備, 車両の 廃棄, 廃油 バッテリーの 廃棄(特にハ イブリッド車 や電気自動 車)	都市内, 主要 道路の沿道 における 車両の騒音, 振動	生息地の 分断 衝突事故 汚染物質に よる攪乱 凍結防止剤 による汚染 街灯による光 害	自然景観・ 伝統的景観 の分断 新たな景観 資源の創出 (橋梁等)
航空輸送	二酸化炭素 排出 大気汚染	空港施設 建設	空港建設に 伴う水域の 開発	航空機の 廃棄	空港周辺の 騒音, 衝撃波	空港開発に よる生息地 の破壊 飛行機との 衝突事故(主 に鳥類)	自然景観の 喪失 飛行機のある 風景

が、海運、水運、鉄道、航空においても同様に大気へのさまざまな影響が見られる。例えば、2011年の時点で航空は、運輸部門の3.9%の二酸化炭素排出量しか占めていないが、国際的には今後国際航空需要が急増し、2050年には2010年に比べて6倍にも上ると予測されている⁴⁾。地球温暖化が注目を浴びるまでは、ヨーロッパを中心に酸性雨が話題の中心であった。一方で、近年は中国を始め発展途上国で粒径が $2.5\mu\text{m}$ 以下の微小粒子状物質（PM2.5）が大気汚染を引き起こしている。

交通が環境に及ぼす影響は、道路等のインフラストラクチャーがもたらす影響と車等の運搬具がもたらす影響に大きく二分できる。大気については、運搬具がもたらす影響がその大部分を占めるが、陸域に及ぼす影響はインフラストラクチャーの整備によるものである。港湾施設や駅、空港等の拠点の施設と、運河、鉄道、

道路等の線状の経路の建設に分けられる。経路は連続していなければならないために、自然環境や土地利用を分断せざるを得ない。また、空港施設のように規模が大ききものは、自然環境、土地利用ともに大きな影響を及ぼし得る。

水域への影響も先の交通機関のインフラストラクチャーに由来するものが多い。河川や沿岸部への影響はこれまで数多く指摘されてきており、開発による水質の悪化を伴うことも多い。また、トンネルを用いた地下交通においても、地下水脈の分断による地下水の減少や汚染、そして排水のための維持管理コストの増大が指摘されている。水域に対しては、運搬具による水質汚染も数多く見られる。道路輸送については、自動車が排出するさまざまな化学物質が、道路に集積し、周辺環境に拡散される。

交通にかかわるインフラストラクチャーの廃止、更新に伴い、大量の廃棄物が発生するとともに、それぞれの運搬具についても耐用年数を超えると廃棄物として処理しなければならない。自動車については、日本では自動車リサイクル法によりリサイクルが義務化されており、リサイクル率は約99%にも上る⁵⁾。ただし、ハイブリッド車の急速な普及や、今後電気自動車や次世代型環境対応車の普及によりバッテリーの廃棄が急増し、そのリサイクルのコストが増大する可能性がある。

騒音については、船舶を除く交通機関でこれまで数多く研究され、さまざまな対策が試みられてきた。インフラストラクチャーの整備の際には、規模に応じて環境アセスメント法の対象となり、法律で定められた基準を満たさなければならない。それぞれの運搬具についても、騒音や振動を抑える開発が続けられている。日本においては、今後整備されるリニアモーターカーや、拡充が進む羽田空港等で、新たな騒音・振動問題が発生する可能性がある。

生物への影響は、交通分野から検討されてきた例は少なく、生物学や生態学の分野からさまざまな指摘がされてきた。最も大きな影響は、生息地の分断、規模の減少である。後で詳しく解説するが、その対策として環境ミティゲーションやエコロードといった対策が講じられるようになってきた。その他、さまざまな影響が見られるが、海運および水運において特徴的なのが、バラスト水による外来種の分布域の拡大と船に使われる塗料による内分泌攪乱物質（いわゆる環境ホルモン）である。また、航空輸送については、飛行機と鳥類の衝突事故が大きな問題になっていて、人間にとっても生命の危険がある。

最後に景観への影響である。この点については、OECDの報告書¹⁾では全く触れられていない。自然景観への影響はもちろんのこと、それまで培われてきた

伝統的、歴史的な景観に交通にかかわるインフラストラクチャーが大きな影響を及ぼすことがある⁶⁾。一方で、景観については、運搬具、インフラストラクチャー自体が、景観資源となることもあるのが大きな特徴である。いわゆる鉄道マニアでなくても、渓谷をまたがる鉄橋に列車がさしかかる写真を美しいと感じるであろうし、横浜ベイブリッジや明石海峡大橋を挙げるまでもなく、インフラ自体が景観スポットとして人気を博している事例には事欠かない。

3.2 道路緑化とパークウェイ

環境と交通のインフラストラクチャーは、相互に強い関係を持ちながら発達してきた。例えば、平澤⁷⁾は、道路緑化の1つの形態である並木について、日本での成立が7世紀初頭に遡ることを示し、8世紀の記録によれば、往来する百姓が日陰で休むことができ、飢えればその実が食べられるということで果樹を植栽することが規定されていたことがうかがえると云う。その後徳川幕府により街道の並木が全国的に整備され、桜並木のようにレクリエーション利用がされるようになったのは徳川吉宗が江戸周辺に園地を開いた18世紀前半になってからである⁷⁾。これは、日本型の緑地計画の誕生とも言える。

一方で、欧米では18世紀後半にデッサウの領主であったレオポルド3世・フリードリッヒ・フランツが、イギリスの風景式庭園に強い影響を受け、1768年から1770年にかけてヴェルリッツ城を風景式庭園に改築した。その後領土内の緑化を次々進めており、ヨーロッパで最初の緑地計画の誕生と言われる。これが道路計画とあいまってパークシステム（公園緑地系統）として確立したのがアメリカであった。19世紀に入り、アメリカでは都市の拡大に伴い、公園緑地の必要性が強く認識されていた。1873年にフレデリック・ロー・オルムステッドが設計したセントラルパークがニューヨークに竣工した。これはアメリカに建設された最初の大規模都市公園である。同じ頃（1868年）、公園と一体として開発されたパークウェイと呼ばれる道路がブルックリン市に建設された⁸⁾。このパークウェイの定義は明確ではなく、既に原形をとどめていないが、その後ボストン、ミネアポリス、カンザス・シティにおいて多様な緑地を結ぶ軸線としてパークウェイが位置付けられた⁸⁾。このパークウェイと緑地の整備は、19世紀の終わりのボストンにおいて、パークシステムと呼ばれる緑地計画に昇華される⁹⁾。これらは自動車交通が普及する前で、道路は

一般的に馬車道として使われていた。

20世紀に入り自動車は急速に普及してくると、自動車の専用道路としてのパークウェイが登場する。これまでの馬車に比べ、スピードが速い自動車の通行速度を増大させることが目的で、1930年代にロングラインランド・ステート・パークウェイが整備された⁸⁾。その後パークウェイは、国立公園道路であったり、景勝地の有料道路であったり、世界各地にさまざまな形態で浸透していった。日本にもアメリカのパークウェイは、すぐさま導入され、湘南海岸公園道路（現在の国道134号の一部）が、日本での初めてのパークウェイとして1931年に着工、1936年に完成した¹⁰⁾（図1）。



図1 現在の国道134号線
（浜見山交番前交差点において2014年6月に筆者が撮影）

3.3 環境ミティゲーションとエコロード

鉄道や自動車技術の発展は、高速での移動を実現し、特に自動車については、いつでもどこにでも自由に行ける高いモビリティを実現した。これらの陸上の高速交通の発展とともに、鉄道や道路が高密度に整備されるようになった。特に、第二次世界大戦以降、世界的に政治が安定すると経済的な発展に伴い交通インフラストラクチャー整備が急速に拡大し、自然環境に大きな影響を及ぼし始めた。アメリカでは1969年に国家環境政策法を制定し、各種開発による自然環境への影響をできるだけ避けるために、環境影響評価（いわゆる環境アセスメント）が制度化された。日本では欧米各国に大きな後れを取ったものの1997年に環境影響評価法が制定された。一定規模以上の開発に環境アセスメントが義務付けられ、事業が自然環境に及ぼす可能性のある影響が調査され、さらに事業後の事後調査も義務付けられている。しかし、アメリカやドイツを始めとした欧米では、さらに一歩進んだ環境ミティゲーションが制度化され、義務付けられている。環境ミティゲーション（単にミティゲーションと呼ばれることも多い）は、開発等の行為の前後で野生生物の生息地としての総量と質を減じない「ノーネットロス（no net loss）」を実現するための手続きで、

①ある行為をしないことで影響を避ける, ②ある行為を制限することで影響の程度を減じる, ③修復やリハビリ, 復元等によって影響を更正する, ④保護策と管理を行うことで経年的な悪影響を無くしたり減じる, 代替資源を供給したり, 置き換えることで悪影響を補う, という対策があり, この順に優先順位がついている¹¹⁾。図2はドイツのフランクフルト近郊の鉄道であるが, 近年の需要



図2 絶滅危惧種であるトカゲの一種 (*Lacerta agilis*)の重要な生息地となっている鉄道の土手(ドイツヘッセン州Wetterau郡において2014年7月に筆者が撮影)

の増大に対応するために複々線化が計画されている。この人工的に造られた鉄道の土手がドイツ国内では絶滅危惧種であるトカゲ (*Lacerta agilis*) の生息地となっており, 複々線化の工事が, その生息に大きな影響を及ぼすことが予測されている。よって, 工事に先立ち周囲に代替となる生息空間を整備するといったトカゲの個体数を維持する方策が計画されている。先に挙げた生物の生息地の総量と質を定量化する手続きがあり, そのユニットを債権化して売買するミティゲーション・バンキングと呼ばれるシステムもアメリカでは運用されていて¹²⁾, 温室効果ガスの排出権取引以前から実際に活用されてきている。

環境ミティゲーションは, 交通のインフラストラクチャーに限らず, あらゆる開発行為が対象であるが, 道路や鉄道といった連続した線状の開発は, 生物の生息地を分断するという特徴を有する。それは, 生息地の規模が縮小されるだけでなく, 横断を試みた動物が自動車や車両と衝突事故を起こすロードキルや, 生活サイクルの中で森林と水辺を移動する両生類のような生物の移動経路分断, 隣接する同種のグループ (個体群と言う) と交雑ができなくなることによる遺伝的な多様性の減少等, さまざまな影響を引き起こす。このような生物に対する影響をできるだけ軽減し, 主には動物の移動に配慮した道路の建設がなされるようになり, それらを総称してエコロードと呼ばれている。環境アセスメント等と同様に欧米で先行してさまざまな事例が蓄積され, 日本に紹介されるようになり, 1993年の第11次道路整備5カ年計画で初めて, エコロードづくりが提唱されるようになった¹³⁾。その具体的な対策は実にさまざまで, 必ずしも動物相だけが対象ではなく, 植物に配慮されたエコロードも建設されている。欧米では, 先に

挙げた環境ミティゲーションの手続きの一環としてエコロードが位置付けられていることが多い¹³⁾。日本でも、数々の事例が見られるようになってきたが、道路建設がまず先に決まっっていて、対処療法的に動物のためのトンネルや橋が設置される場合も多く、エコロードと呼ぶには効果を疑問視せざるを得ないものも多い。また、最近の研究では、アメリカ全土で年間8千9百万～3億4千万羽もの野鳥が自動車との衝突によって死亡しているという推定もなされていて¹⁴⁾、今後さらなる対策が必要である。

3.4 交通と外来生物

はじめに地球温暖化について言及したが、21世紀の地球環境問題として生物多様性の減少を挙げる必要がある。1992年にリオデジャネイロで開催された地球サミットで、気候変動枠組条約と同時に生物多様性条約が採択され、1993年に発効した。地球温暖化問題に比べるといまひとつ知名度がなかったが、2010年に愛知県で生物多様性条約第10回締約国会議（COP10）が開催され、日本でも一躍注目を浴びるようになった。生物多様性を脅かす要因については、日本の生物多様性国家戦略¹⁵⁾等に詳しいが、交通との関係で取り上げるべき課題の1つは、外来種の移入である。今では日本の草地で一般的に見られるシロツメクサが、アメリカと日本の貿易が盛んになり、荷物の緩衝材としてアメリカで梱包され、それが日本で広がったのは有名な話であるが、人間の移動とともに、さまざまな生物が意図されてか、されていないかを問わず、運ばれている。

交通に特徴的な例としては、船舶のバラスト水に混入して運ばれる例を挙げることができる。バラスト水は、船舶の運航を安定させるために、特に貨物船で積載量が少ないときに必要とされ、バラストタンクに海水を積むことが一般的である。この海水に多くの水生生物が混入する。海水は、異なる港で貨物を積載するときに放出されるため、かなりの距離を運搬されることもあり、かつ船舶の高速化とともに、混入した水生生物の生存率も高まっていると言われている。日本では要注意外来生物に指定されているムラサキイガイ（いわゆるムール貝）の例がよく知られている。日本在来の生物が運ばれることももちろんあり、ワカメがオーストラリアで大繁殖し、漁業に大きな被害をもたらした。

航空需要の増大も、生物の移動を促進し、人間へのリスクをもたらしている。

航空機によって運搬される招かれざる客の筆頭は、病原菌やウイルスである。旅行者の足として航空機が一般的になって以来そのような例は知られていたが、広く危険性が認知されるようになったのは、2000年以降の重症急性呼吸器症候群（SARS）と鳥インフルエンザの流行である。後者については、野鳥により海を越えて伝播することが知られているが、感染した人間がウイルスを飛行機で運搬する危険性もあり、世界中の空港で熱センサーによる旅行者の体温計測も一般的になった。SARSについては2003年に飛行機を使った旅行者が感染していたことが分かり、中国を始めとした各国は対応に追われた。また、ウエストナイル熱のように、人から人への感染は見られないが、媒介者である蚊が航空機で運ばれて感染が広がる可能性が指摘され、2003年には厚生労働省から「北米地域から来航する航空機へのウエストナイル熱媒介蚊対策の指導について」という通知が出されるに至った。

3.5 低炭素交通社会に向けて

はじめに述べたように、交通が目下直面している最も深刻な環境問題と認識されているのが、地球温暖化問題である。図3は2012年度の統計であるが、日本全体の二酸化炭素排出量のうち、運輸部門は18%を占めており、運搬具の製造まで合わせるとさらにその比率は高まるであろう。しかし、交通分野の二酸化炭素排出量は、2000年以降顕著に減少し始めている。それまで一貫した上昇傾向であったものが、大きな転換を迎えつつある。

交通における二酸化炭素排出削減は、大きく分けて3つのアプローチが必要である。1つは、運搬具の排出量を削減すること。次は、交通インフラストラクチャーの改善。そして最後は、社会全体として排出量が削減できる交通システムの構築である。3つ目のシステムには、税制改革等も含まれる。

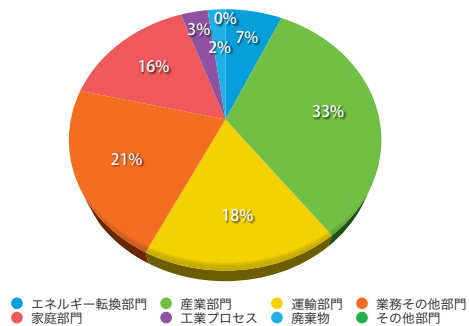


図3 2012年度の日本の部門別の二酸化炭素排出量（間接排出量）の割合（国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィスのデータより筆者が作成）

運搬具の開発、改良は、特に自動車において各メーカーがしのぎを削っている。日本では近年の燃料高騰もあり、消費者の燃費への意識は一層高まり、ガソリン車に比べて燃費が良いとされるハイブリッド車が2013年の新車販売に占める割合は、17%に上った。いわゆる次世代型の車両が開発される一方で、従来の内燃機関の燃費向上、二酸化炭素排出量削減も着実に進行しており、2015年にはリッター40kmを実現する軽自動車が登場すると言われている。アメリカとEUは、それぞれ近い将来に自動車が排出する二酸化炭素の量を規制することを決定している。

二酸化炭素削減に大きな効果をもたらす交通インフラストラクチャー改善の1つとして、渋滞緩和が挙げられる。特に首都圏においては、慢性的な渋滞が発生しているためさまざまな対策が取られてきたが、バイパスや高速道路の建設等により渋滞を緩和することによって、二酸化炭素を削減できる。しかし、結果として交通量が増大したり、走行距離が増加することにより、排出量が増加することもあり得る。最近では、刻々と変化する交通量をリアルタイムで計測し、交通量に最適な信号機の制御も試みられるようになってきている。また、日本においてはほとんど見られなくなってしまったラウンドアバウトを地方都市において復活させようという動きも各地で始まっており、二酸化炭素の削減効果も確認されている¹⁶⁾。

二酸化炭素の抜本的な削減のためには、交通システムの転換が欠かせない。ヨーロッパの都市では、ロードプライシングやカーシェアリング、自転車道の整備、公共交通機関の運賃引き下げ、都市部の駐車料金の引き上げ、パークアンドライド、スマートフォン等を使った公共交通の情報化等、さまざまな方策と技術を使って、自家用車から公共交通への利用転換を促している。オーストリアのウィーン市では、1993年から2012年の間に、公共交通の利用率は10ポイント上昇した¹⁷⁾。日本では、これまであまり一体的な取り組みがなされてこなかったが、コンパクトシティ化と合わせてLRTを導入した富山市は、成功例として挙げられることが多い。自動車にかかわる税制のグリーン化も、二酸化炭素削減に大きな効果をもたらす。欧米では、地域の実情に合わせたきめ細やかな環境に配慮した税制改革が行われてきた¹⁸⁾。日本においても、環境対応車に対する税の優遇に加えて、2012年10月からは地球温暖化対策税が導入された。これまでの石油石炭税に上乘せするもので、2016年4月までに段階的に引き上げられる。この地球温暖化対策税の税収を活用して、省エネルギー対策、再生可能エネルギー普及、化石燃料のクリーン化・効率化等のエネルギー起源CO₂排出抑制の諸施策を着実に実施していくこととされている。

参考文献

- 1) Organisation for Economic Co-operation for development. 1988. *Transport and the environment*.
- 2) 日本経済調査協議会「交通と環境」『日経調査資料』Vol. 92, No. 13, pp. 1-212, 1993年
- 3) 中村英夫, 林良嗣, 宮本和明編『都市交通と環境一課題と政策』運輸政策研究機構, 2004年
- 4) International Civil Aviation Organization. 2013. *Environmental report: aviation and climate change*.
- 5) <http://www.jarc.or.jp/automobile/manage/> (2014年6月5日閲覧)
- 6) European Environment Agency. 2011. *Landscape fragmentation in Europe: Joint EEA-FOEN report*. Publications office of the European Union.
- 7) 平澤毅「近世以前の日本における並木の成立と発展」『IATSS Review』Vol. 22, No. 1, pp. 4-12, 1996年
- 8) 石川幹子「アメリカ合衆国におけるパークウェイの成立に関する研究」『土木史研究』Vol. 13, pp. 105-120, 1993年
- 9) 石川幹子『都市と緑地』岩波書店, 2001年
- 10) 越沢明「都市計画における並木道と街路樹の思想」『IATSS Review』Vol. 22, No. 1, pp. 13-23, 1996年
- 11) 森本幸裕, 亀山章編『ミティゲーション—自然環境の保全・復元技術—』ソフトサイエンス社, 2001年
- 12) 田中章「ミティゲーション・バンキングによるウェットランド等の生態系保全—米国の生物多様性オフセットの経済的手法: 生物多様性バンキングの実態—」『水環境学会誌』Vol. 33, No. 2, pp. 54-57, 2010年
- 13) 海外エコロード事例調査団編『エコロードブック—生き物と共生する道路づくり海外事例集』道路緑化保全協会, 1999年
- 14) Loss, S. R., T. Will, and P. P. Marra. 2014. "Estimation of bird-vehicle collision mortality on U.S. roads." *The Journal of Wildlife Management*. <http://doi.org/10.1002/jwmg.721>.
- 15) 環境省『生物多様性国家戦略2012-2020 ~豊かな自然共生社会の実現に向けたロードマップ~』2012年
- 16) 松田昌二, 鋤柄寛, 森茂夫「飯田市におけるラウンドアバウトの展開」『IATSS Review』Vol. 39, No. 1, pp. 15-21, 2014年
- 17) <http://www.nachhaltigkeit.wienerstadtwerke.at/daseinsvorsorge/oepnv/modal-split.html> (2014年6月5日閲覧)
- 18) 今西芳一, 芝原理之「欧米諸国の自動車関連税制」『IATSS Review』Vol. 38, No. 3, pp. 182-190, 2014年

推奨文献

- 1) World Conference on Transport Research Society & Institute for Transport Policy Studies. 2004. *Urban Transport and the Environment: An International Perspective*. Emerald Group Publishing Limited.
- 2) Benedict, M. A., and E. T. McMahon. 2006. *Green Infrastructure: linking landscape and communities*. Washington, DC: Island Press.

参照すべき実践編プロジェクト