

第 3 章

交通と環境

3.1 地球環境問題とパンデミックの衝撃

交通と環境の問題は、化石燃料を用いる交通機関が登場した産業革命がその始まりである。当時は交通運搬具と交通インフラが環境へもたらす影響は限定的であったが、20世紀前半のモータリゼーションが都市部の環境問題を引き起こし、第2次世界大戦以降、主に先進国においてより大きな問題へと発展した。自動車の排ガスによる大気汚染に対しては、国や地域において汚染物質排出規制がとられるようになった。しかし、全世界的な経済成長に伴い、化石燃料を含めた自然資源の利用は急増し、廃棄物の排出も増大した。1972年にローマクラブは人口増加と環境汚染が続けば、100年以内に地球上の成長は限界に達するとする「成長の限界」^[1]と題したレポートを公表し、警鐘を鳴らした。

21世紀は環境の世紀と呼ばれ幕を開けたが、地球環境問題は一向に改善していない。2009年にストックホルム・レジリエンス・センターとオーストラリア大学を中心として考案されたプラネタリーバウンダリー（地球の限界）は、気候変動、化学物質による汚染（新規化学物質）、成層圏オゾン層の破壊、大気エアロゾルの負荷、海洋酸性化、生物地球化学的循環、淡水利用、土地利用の変化、生物多様性の喪失という9つの項目において、限界を超えてしまっているかどうかを示すものである^[2]。2009年の時点で気候変動、生物地球化学的循環、生物多様性の喪失の3項目が限界を超えており（ただしこの時点で二つの項目は定量化されていない）、2015年にはさらに土地利用の変化が限界を超えていることが明らかになり^[3]、最近発表された2023年時点では化学物質による汚染、淡水利用の2項目が追加され、9

つの項目のうち6つで限界を超えていることが明らかにされた(図3.1)^[4]。これまで際限なく使われてきた自然資源はすでにその限界を超えつつある。かつてローマクラブによって警鐘が鳴らされた地球の限界は現実のものとなってしまった。

2009年時点ですでに限界を超えているとされる温室効果ガス(GHG)による気候変動は、一刻の猶予も許されない地球環境問題として広く認知されるようになった。2021年8月には気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第6次報告書第1作業部会報告書IPCC^[5]が公開され、2011年から2020年の10年間で、世界の地表温度は1850年から1900年の間に比べて1.09度上昇していること、その気温上昇のほとんどが人為的な要因であることが示された。2023年の夏は北半球の多くの地域で記録的な暑さを経験した。世界気象機関(WMO)と欧州連合(EU)の気象情報機関「コペルニクス気候変動サービス」によれば、2023年7月は世界の平均気温が観測史上最高となったという。2021年11月にイギリスのグラスゴーで気候変動枠組条約の第26回締約国会議(COP26)が開催され、気温上昇を1.5度に抑える努力を追求することが合意されたが、2023年5月にWMOが発表した報告によれば^[6]、2027年までに66%の確率でこの1.5度を超えてしまうとされている。

気候変動は、交通においては運搬具による影響が大きいですが、交通インフラは自然環境に大きな影響を及ぼしてきた。2009年時点ですでに地球の限界を超えているとされた生物多様性喪失、2015年時点で限界を超えたとされた土地利用変化につながってきた。2022年12月にカナダのモントリオールで生物多様性条約第15回

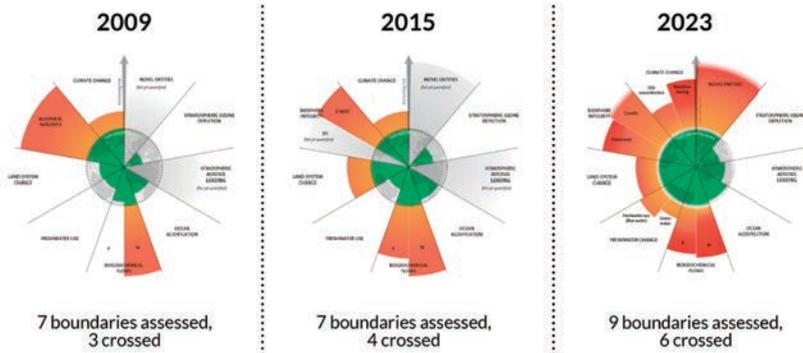


図3.1 地球の限界 (<https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html> より。Azote for Stockholm Resilience Center, Stockholm University. Based on Richardson et al., 2023, Steffen et al., 2015, and Rockström et al., 2009).

締約国会議（COP15）が開催され、2030年に向けた新たな目標（昆明・モンテリオール生物多様性枠組）が合意された。それ以前の目標は2010年に名古屋で合意された愛知ターゲットで20の個別目標で構成されていたが、その目標のほとんどは2020年までに達成できなかったことが明らかになっている^[7]。新たな目標の一つは、30by30（サーティバイサーティ）と呼ばれるもので、2030年までに生物多様性保全に資する自然保護地を30%までに引き上げようというものである。これは陸域のみならず海域も対象としている。

2019年末から世界中で猛威を振るった新型コロナウイルス感染症（以下COVID-19）は、交通に大きな影響を及ぼした。本書が執筆された2023年末には、ほぼすべての国と地域においてCOVID-19による制限は解除されたが、依然として変異株の感染者数が増加していることが各地で報告されている。まだ私たちはCOVID-19の影響下にある。今回のパンデミック以前からワンヘルス（one health）という人、動物、生態系の健康を一体として守らなければならないという考え方が示されてきていた^[8]。COVID-19を経て、世界各地の都市において交通とまちのあり方が急速に変わりつつある。それは環境問題への対応とも両立しうるものになってきている。

3.2 これまでの交通と環境問題

1988年にOECDは“Transport and the environment”と題した報告書^[9]を発行した。これは日本語にも訳され、『交通と環境』^[10]として1993年に出版されている。この報告書では、交通と環境の関係が網羅的に整理され議論されている。表3.1はその報告書に掲載されている表をもとに執筆者が加筆修正したもので、交通機関の環境への影響が整理されている。

交通が環境に及ぼす影響は、道路などの交通インフラがもたらす影響と自動車など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交通インフラの整備によるものである。それは、港湾施設や駅、空港などの拠点の施設と、運河、鉄道、道路など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えない。また、空港施設のように規模が大きなものは、自然環境、土地利用ともに大きな影響を及ぼしうる。

大気への影響として、すべての交通機関において二酸化炭素排出と大気汚染が挙

表 3.1 交通機関の環境への影響（文献^[9]の表 1 をもとに執筆者が加筆修正）。

| 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泌攪乱 | 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（鉄橋や車両など） |
| 道路輸送 | 二酸化炭素排出 大気汚染（とくに、CO ₂ 、HC、NO _x 、粉塵および鉛のような燃料添加物） | 道路を含む関連施設建設 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（とく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（橋梁など） |
| 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 |

げられている。20世紀後半になると硫酸酸化物を中心とする産業公害型の大気汚染が改善されるようになってきた一方で、自動車等の交通運搬具を発生源とする窒素酸化物などによる都市・生活型大気汚染が顕在化していた。1962年にアメリカのカリフォルニア州で、世界で初めての自動車の排ガス規制が始まり、日本を含めた世界の国々が規制を強化し、一酸化炭素、炭化水素、窒素酸化物、鉛化合物、粒子状物質（PM2.5など）の排出を削減してきた。そのため、先進国においては都市・生活型大気汚染も顕著に改善されてきたが、開発途上国においては依然として大きな課題になっている。なお、この報告書が発行された1988年には、GHGによる気候変動、地球温暖化がまだほとんど注目されていなかった。

水域への影響も先の交通インフラ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、開発が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。

交通インフラの廃止、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2003年に自動車リサイクル法が施行され、自動車のリサイクルが義務化された。最近のリサイクル率は96.1%にも上る^[11]。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。交通インフラの整備の際には、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。

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。後半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。そのほか、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（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^[9]ではまった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インフラが大きな影響を及ぼすことがある^[12]。一方で、景観については、交通運搬具、交通インフラ自体が、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、渓谷を跨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、交通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。

3.3 交通と気候変動

3.3.1 運輸部門の二酸化炭素排出

2015年末に気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）がパリで開催され、パリ協定が合意された。パリ協定は、すべての国々が参加する初めての気候変動に関わる国際的な枠組みである。世界共通の長期目標として2100年までの平均気温上昇を2度に抑える目標が設定され、努力目標として1.5度が定められた。それぞれの国々はどれほどGHGを削減するか目標削減量を提出している。

GHGの中でも人間活動による排出量が多い二酸化炭素は2022年には全世界で368億トンにも上る。2020年はコロナ禍により世界中でさまざまな活動が制限されたことにより前年の362億トンから343億トンと激減したが、多くの国で移動制限などが解除され始めた2021年には365億トンに急増してしまった^[13]。1900年の世界の二酸化炭素総排出量は20億トンであったとされ、一時的に減少した年はあるものの一貫して急激な増加を見せてきた。そのうち運輸部門は21.7%もの割合を占め、エネルギー転換部門（39.8%）、産業部門（24.9%）に次いで大きな比率を占める^[14]。

日本においては年度ごとにGHGの総排出量が二酸化炭素換算で集計されているが、近年では2013年度の14億900万トンピークに一貫して減少してきた。2019年度は12億1000万トンとなり、コロナ禍の影響を強く受けた2020年度は11億4700万トンまで減少した。しかし、制限が徐々に解除され始めた2021年度には、11億7000万トンに増加した。このうち、二酸化炭素の排出量は10億6400万トンである。各部門別の排出量の比率を図3.2に示したが、運輸部門は16.7%で、エネルギー転換部門（40.4%）、産業部門（25.3%）に次ぐ比率となるのは、全世界の傾向と同様である。発電および熱発生に伴うエネルギー起源の二酸化炭素排出量を、電力および熱の消費量に応じて、消費者側の各部門に配分した排出量で換算すると運輸部門は17.4%にその比率が上昇する。運輸部門の二酸化炭素排出量も近年一貫して減少してきており、2001年度をピークに2020年度まで減少し、2021年度は前年度比で0.8%の増加となった。

ここで紹介している運輸部門の二酸化炭素排出量は、交通運搬具が燃料を燃焼させて走行することにより発生する二酸化炭素、そして電力を用いるものについては発電量に応じた二酸化炭素排出原単位を合計して求められている。よって、近年の排出量の減少は自動車の燃費の改善が影響を及ぼしているとされる。コロナ禍に

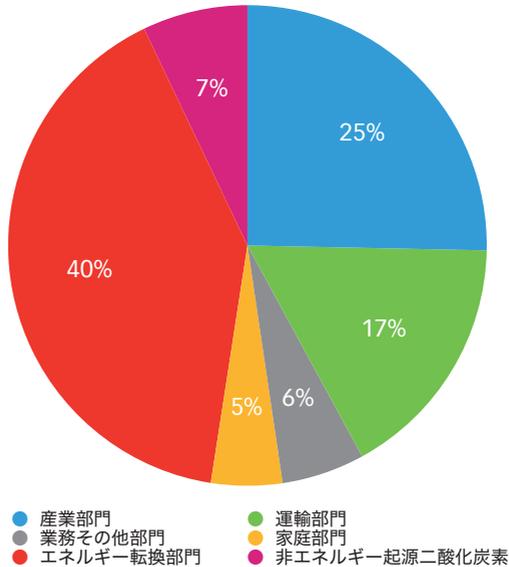


図 3.2 2021 年度の日本の部門別の二酸化炭素排出量の割合 (https://www.env.go.jp/content/000128749.pdf より執筆者が作成)。

入った 2020 年度を除き、軽油の消費量はそれほど大きな変化を見せていないことに比べ、ガソリンの消費量は年々減少してきていたことからその傾向がうかがえる。この運輸部門の二酸化炭素排出は、交通分野の大きな部分を占めるが、ここには交通運搬具の製造に関わる排出、交通インフラ整備に関わる排出は算入されていない。それらの多くは産業部門に組み入れられている。また、日本国内で販売される日本企業の自動車や二輪車の多くは、ほとんどすべて、またはその一部が国外で生産されるため、製造過程で排出される二酸化炭素は日本での排出に算入されていない。

3.3.2 交通運搬具のカーボンニュートラル

電気自動車の普及

2015 年のパリ協定締結以降、排出割合が大きい運輸部門におけるカーボンニュートラルについても活発に対策が検討され、実行に移されている。2017 年 7 月 6 日には、フランス政府がガソリン乗用車やディーゼル乗用車の販売を 2040 年までに中止すると発表し、世界中で耳目を集めた。これは同じく 2017 年 7 月に発表され

た気候計画に位置づけられているものである。その後、同様の方針はイギリスや中国からも発表され、2021年7月には欧州委員会が乗用車や小型商用車の新車による二酸化炭素排出量を2035年までにゼロにする規制案を発表した。2022年10月にはハイブリッド車を含むガソリン車の販売を禁止し、電気自動車(EV)や燃料電池車(FCV)に移行させる政策が、欧州議会で可決された。2015年は自動車メーカーによるディーゼル車の排ガス規制違反が発覚した年でもあり、とくにヨーロッパでそれまで主流であったディーゼル車の信頼が失墜したことは、ヨーロッパ諸国が電気自動車へ大きく舵を切る重大なきっかけになった。

国際エネルギー機関(IEA)によれば、2022年におけるバッテリー電気自動車(BEV)とプラグインハイブリッド車(PHEV)を合わせた世界のEVの新車販売数は初めて1000万台を超えたという^[13]。そして新車販売台数に占めるEVの割合は、中国で29%、ヨーロッパで21%、アメリカで8%となり、中国において急速に普及しつつある。中国には、低速充電器(出力22kW以下)が100万か所以上存在し、世界の半数を占め、高速充電器(出力22kW以上)については世界の9割に当たる76か所が設置されている^[13]。充電インフラの整備により急速に電気自動車の普及を促していることがわかる。なお、日本の2022年の新車販売台数に占めるBEVは、1.72%、PHEV車は1.10%であった^[14]。両者を合わせても3%に満たないシェアで、中国や欧米に比べて普及が遅れていることがわかる。

BEVは、電気エネルギーのみで走行するため二酸化炭素を排出しない。BEVは基本的にすでに整備されている発電、送電インフラにより電力を供給できるため、近い将来のカーボンニュートラル実現のために有力な選択肢となっている。一方で、バッテリーやモーターの生産には、レアアース、レアメタルと呼ばれる物質や金属を必要とし、気候変動とは異なる環境問題を引き起こすことが古くから指摘されてきている。加えて、国や地域のカーボンニュートラル実現は供給される電力の発電方法に強く依存する。たとえば、ガソリン車、ディーゼル車の販売中止を真っ先に掲げたフランスは、2021年の発電量のうち、69%を原子力発電が占める。次に大きな割合を占めるのは水力発電の12%で、二酸化炭素を発生させる化石エネルギーを用いた発電はわずか7.4%である。日本の2019年度の発電量は天然ガス37.1%、石炭31.9%、石油等6.8%で、化石エネルギー由来が合計75.8%にも上る。Hollandら^[15]は、アメリカにおけるBEV導入の環境便益を調査し、地域によって環境便益が大きく異なることを明らかにしている。化石エネルギーによる発電量が少ないカリフォルニア州ではその便益が最大化されるが、ノースダコタ州のように発電量の

ほとんどが石炭による地域では、BEVはガソリン車よりも大きな害をもたらすと指摘している。2022年度の日本の電源構成によれば、依然として27.8%を石炭によりまかなっており、現時点での急激なBEV導入は逆効果になりえる。

水素の活用

カーボンニュートラルの実現に向けて注目を集めている燃料が水素である。自動車については、すでに燃料電池車（FCV）が実用化され、販売されている。FCVは水素と酸素の化学反応によって電気エネルギーを発生させる。電気エネルギーを使うという意味では、EVの範疇に入る。FCVも二酸化炭素のみならずそのほかの大気汚染物質を発生させない。水素自体を燃焼させて推進力を得る水素自動車もすでに存在しているが、一般的には市販されていない。水素は、燃焼しても二酸化炭素を一切発生しない燃料であるが、爆発の危険性が高く、取り扱いに注意を要する。さらに、石油などと異なり、採掘によって得られる燃料ではなく、天然ガスなどを用いて工業生産される。よって生産や輸送、貯蔵にコストがかかること、また生産過程において二酸化炭素が排出されることが大きな課題である。また、FCVに水素を供給する水素ステーションは2023年1月現在で日本全国に163か所しか存在しないうえ、そのほとんどは大都市圏に集中している。ガソリンスタンドは年々減少してきているものの全国に2万9000か所余り存在しており、BEVについては充電スタンドの数が課題とされているが、所要時間を気にしなければ自宅で容易に充電できる。水素の供給体制は、FCVや水素自動車の普及の大きな鍵といえる。ただし、2050年のカーボンニュートラル実現に向けて日本政府は、水素による発電が一定程度必要であるとしており、水素の供給についてもより整備が進む可能性もある。

そのほかの代替燃料の活用

自動車をはじめとした交通運搬具にはこれまでさまざまな燃料が使われてきた。カーボンニュートラルが求められる中で、電気と水素以外の燃料が検討されている。植物由来のバイオマスを活用するという意味では、エタノールやバイオディーゼル燃料がすでに実用化されているが、かつてはバイオマス自体を燃焼させた木炭自動車も存在した。原子力は船舶においてすでに実用化されている。船舶では風力の活用が改めて見直されている。

できるだけ早いカーボンニュートラルが求められる中で、近年急速に注目を集め

ているのが、合成燃料である。二酸化炭素と水素から合成される合成燃料は、化石燃料を使用して排出された二酸化炭素を活用できる。将来的には、大気中から二酸化炭素を直接分離・回収する直接空気回収技術（Direct Air Capture, DAC）を使って生成できれば、カーボンリサイクルが実現するとされている。合成燃料は、エンジンなど従来の内燃機関が利用できることもあり、導入が容易である。最も大きな課題はコストである。既存の化石燃料に比べてはるかに大きなコストがかかる。しかし、製造技術の発達とともにコストの低減も可能であるとされ、欧米を中心に数多くのプロジェクトが実施されている。このような背景もあり、2035年に化石燃料を用いるエンジン車の新車販売をすべて禁止するとしていたEUは方針を変更し、2023年3月に合成燃料を使うエンジン車に限っては販売を認めるとした。たった1年足らずで方針を転換した背景には、さまざまな要因が作用しているといわれるが、運輸部門のカーボンニュートラルが一つの方策では実現しえないことを示しているともいえる。

3.3.3 カーボンニュートラルを実現する交通と都市のあり方

運輸部門のカーボンニュートラル実現には交通運搬具1台当たりの二酸化炭素排出量を減らしていくことが不可欠であるが、その総量が増えていけば、結果的にGHG排出量を削減できない。図3.3は最近約10年間の世界の地域ごとの乗用車新規登録台数の変遷である。ヨーロッパと南北アメリカ大陸ではあまり変化がなく、

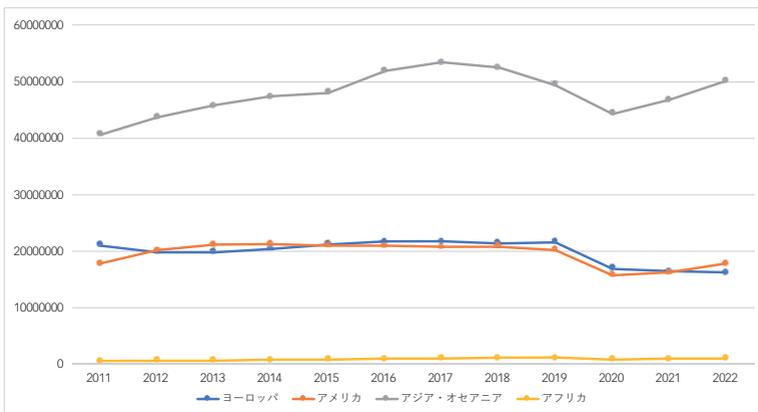


図 3.3 世界の地域ごとの乗用車新規登録台数（<http://www.oica.net/> のデータより執筆者が作成）。

近年は減少している様子がうかがえるが、アジアとオセアニアについては増加傾向で、COVID-19の影響で落ち込んだものの再度増加している。アフリカについてはほかの地域に比べて総数が少ないために変化がわかりにくいだが、2022年は2011年に比べて1.8倍となっている。先進国では自動車の保有台数が頭打ちになっている一方で、中国やインドでは近年新規登録台数が急増してきた。アメリカをはじめとした先進国は、自動車の出現とともに都市計画のあり方が根本的に変わり、自動車による移動を前提としたグリッドで構成される都市と郊外を生み出した。しかし、1990年代から徒歩や自転車、公共交通によって移動できる都市に転換を図ってきた。その目的は、大気汚染物質の削減、交通渋滞の緩和、健康増進、中心市街地の活性化、コミュニティ形成など、さまざまである。とくに、COVID-19のパンデミック下においてロックダウンを経験した都市においては、自家用車による移動を制限されたため、改めて徒歩や自転車による移動が見直されるきっかけとなった。Morenoら^[16]によって提唱された15分都市（15-minute city）は、2020年のパリ市長選ではこれを公約に取り入れたAnne Hidalgoが当選するなど、市民の関心が高いことも証明された。自動車から徒歩や自転車、公共交通へのモーダルシフトが、大気汚染物質の削減と渋滞の緩和に貢献することは数多くの研究により明らかにされてきており、二酸化炭素排出削減にもつながることが示されている^[17]。中国をはじめ近年都市が急拡大している国々では、地下鉄などの公共交通機関への投資がなされているが、その便益は大気汚染の削減よりも渋滞緩和によるものが大きいという指摘もある^[18]。

近年欧米を中心に導入が進んでいるマルチモーダルサービスも、カーボンニュートラルの実現に大きな役割を果たそうとしている。たとえば、MaaS（Mobility as a Service）は公共交通のみならず、自転車やマイクロモビリティ、自動車のシェアリングなど、交通に関わるあらゆるサービスをつなぎ、利用者の移動の利便性を高めるサービスであるが、二酸化炭素排出削減にも大きく貢献しつつある。EUでは2030年までに少なくとも55%のGHG削減を実現するために2025年までに新しいモビリティサービスを含めた都市圏交通戦略を策定するとしている。その鍵となるのがMaaSであり、スマートフォンのアプリが利用のプラットフォームとなる。アプリにおいては、リアルタイムの交通情報のみならず、二酸化炭素排出量を明示することにより、利用者に行動変容を促す。アプリは情報を利用者提供するのみならず、利用者から移動を含めたデータを収集するツールともなるため、データドリブンなサービスの提供につながる。ひいては環境負荷についてのデータ収集もリア

ルタイムとなり、これまで以上の精度が期待できる。個人の移動経路や利用サービスなど個人情報の扱いについては、さまざまな議論があり慎重を要するが、正確なデータに基づきモビリティサービスを提供し、同時にカーボンニュートラルの実現を目指す、交通ビジョンを描くことが可能となった。

3.4 交通インフラがもたらす自然環境への影響

3.4.1 環境アセスメント

3.2節で述べたように交通インフラの整備には土地利用の改変が伴うため自然環境にさまざまな影響を及ぼす。第2次世界大戦以降の交通運搬具の急増は交通インフラの急速な発展に支えられた。そのようなインフラ整備は、当然自然環境への大きな影響をもたらした。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とったものの1997年に環境影響評価法が制定された。表3.2は日本の環境アセスメントの対象事業の一覧である^[19]。対象となる事業は13に区分されており、港湾計画も含めると14区分となる。そのうち道路、鉄道、飛行場、港湾計画は、まさに交通インフラで、加えて土地区画整理事業、新住宅市街地開発事業、工業団地造成事業、新都市基盤整備事業、流通業務団地造成事業、宅地の造成の事業といった6つの区分も都市の基盤としての交通インフラに大きく関わるため、交通インフラが及ぼす環境への影響の大きさがよくわかる。なお、すべての事業が環境アセスメントの対象となるわけではなく、表3.2にあるように一定規模以上の事業を対象とする。第2種の事業については、環境アセスメントが必要かどうか個別に判断がなされる。さらに、多くの地方公共団体では別途環境影響評価条例を定めていて、環境影響評価法の対象とならない事業も、条例におけるアセスメントの対象としている。

環境アセスメントでは、さまざまな項目について調査、予測、評価が行われる。神奈川県環境影響評価条例を例に挙げると、以下の21の項目を対象としている。すなわち、大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、騒音・低周波音、振動、地盤沈下、悪臭、廃棄物・発生土、電波障害、日照阻害、反射光（太陽光発電パネルに入射した太陽光が反射するものに限る）、気象、水象、地象、植物・動物・生態系、文化財、景観、レクリエーション資源、温室効果ガス、地域分断、安全である。反射光など、特定の開発事業にのみ関わるものもあるが、交通インフラの整備に当たってはほと

表 3.2 環境アセスメントの対象事業一覧（環境省(2023)^[20]より）。

| | 第1種事業 (必ず環境アセスメントを行う事業) | 第2種事業 (環境アセスメントが必要かどうかを個別に判断する事業) |
|-----------------|----------------------------|--------------------------------------|
| 1 道路 | | |
| 高速自動車国道 | すべて | — |
| 首都高速道路など | 4車線以上のもの | — |
| 一般国道 | 4車線以上・10km以上 | 4車線以上・7.5km～10km |
| 林道 | 幅員6.5m以上・20km以上 | 幅員6.5m以上・15km～20km |
| 2 河川 | | |
| ダム、堰 | 湛水面積100ha以上 | 湛水面積75ha～100ha |
| 放水路、湖沼開発 | 土地改変面積100ha以上 | 土地改変面積75ha～100ha |
| 3 鉄道 | | |
| 新幹線鉄道 | すべて | — |
| 鉄道、軌道 | 長さ10km以上 | 長さ7.5km～10km |
| 4 飛行場 | 滑走路長2,500m以上 | 滑走路長1,875m～2,500m |
| 5 発電所 | | |
| 水力発電所 | 出力3万kW以上 | 出力2.25万kW～3万kW |
| 火力発電所 | 出力15万kW以上 | 出力11.25万kW～15万kW |
| 地熱発電所 | 出力1万kW以上 | 出力7,500kW～1万kW |
| 原子力発電所 | すべて | — |
| 風力発電所 | 出力1万kW以上 | 出力7,500kW～1万kW |
| 6 廃棄物最終処分場 | 面積30ha以上 | 面積25ha～30ha |
| 7 埋立て、干拓 | 面積50ha超 | 面積40ha～50ha |
| 8 土地区画整理事業 | 面積100ha以上 | 面積75ha～100ha |
| 9 新住宅市街地開発事業 | 面積100ha以上 | 面積75ha～100ha |
| 10 工業団地造成事業 | 面積100ha以上 | 面積75ha～100ha |
| 11 新都市基盤整備事業 | 面積100ha以上 | 面積75ha～100ha |
| 12 流通業務団地造成事業 | 面積100ha以上 | 面積75ha～100ha |
| 13 宅地の造成の事業（*1） | 面積100ha以上 | 面積75ha～100ha |

○港湾計画（*2）

埋立・掘込み面積の合計300ha以上

（*1）「宅地」には、住宅地以外にも工場用地なども含まれる。

（*2）港湾計画については、港湾環境アセスメントの対象となる。

んどすべての評価項目が対象となるであろう。

環境影響評価法の対象となる事業の場合、環境アセスメントの手続きは、大きく5つの段階を踏むことになる。計画段階に配慮が必要な事項を検討しまとめた配慮

書の作成，環境アセスメントを行う項目・方法の案をまとめる方法書の作成，アセスメント結果の案をまとめた準備書の作成，準備書の案に修正を加えてアセスメント結果を確定させた評価書，そして事業の実施に際して行われた環境保全処置等の結果をまとめた報告書の作成である。これらの配慮書，方法書，準備書，評価書，報告書は，定められた期間縦覧され，誰でも読むことができる。このプロセスにおいて，環境大臣をはじめとした主務大臣，都道府県知事・市町村長，国民等の意見が提出される。

3.4.2 環境ミティゲーション

環境影響評価法では，第1条において「環境影響評価の結果をその事業に係る環境の保全のための措置その他のその事業の内容に関する決定に反映させるための措置をとることなどにより，その事業に係る環境の保全について適正な配慮がなされることを確保」するとしており，事業による環境への影響に対し，保全処置を求めている。環境保全処置の検討に当たっては，環境への影響を回避し，または低減することを優先する。環境が損なわれる場合には，同種の環境を創出するなどして，環境保全の視点から代償する処置が求められる。

このような環境保全処置は，欧米で先駆けて取り組まれ，制度化されてきた。それらは環境ミティゲーション，あるいは単にミティゲーションと呼ばれる。アメリカにおいては，(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，復元など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なくしたり減じる，(5) 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5つの対策があり，この順に優先される^[20]。それぞれ，回避，最小化，修復・修正，軽減，代償と呼ばれることもある。日本の環境保全処置では，ある開発事業に当たって絶滅危惧種の生息地が縮小してしまう場合，隣接する場所に生息地となりうる環境を確保し，そこに該当の種を移し，経過をモニタリングし，事後報告書にまとめるということがよくなされている。しかし，国外の環境ミティゲーションの手続きでは，ある環境の質（たとえばある絶滅危惧種の生息に求められる環境）と量（通常は面積）を事業の前後で減少させないノーネットロス（no net loss）が求められる。失われる環境の質に対して，新たに確保する環境の質が下がる場合は，失われる環境の面積の2倍や数倍の面積の確保が求められることもある。日本の環境アセスメントの手続きでは，ノーネットロスまでは求められていない。

アメリカでは、湿地を保全しこれ以上減少させないために環境ミティゲーションの仕組みが誕生した。事業におけるノーネットロスを実現するために、生物生息地を定量的に評価する手法（Habitat Evaluation Procedure, HEP）を開発してきた^[21]。この定量化が実現すると、開発事業における環境の喪失と復元を測るだけでなく、自然の復元や保全活動の成果も評価することができる。その成果をクレジット化し、開発に伴う代償が要求される事業者が購入できるような仕組みがミティゲーションバンキングである^[22]。自然保護を進める市民団体がクレジットの売却により活動資金を得ることもできる。環境分野におけるこのような債権化の仕組みとしては、カーボンオフセットが広く知られているが、ミティゲーションバンクの方がより歴史が長い。近年は、カーボンオフセットに倣い生物多様性オフセットと呼ばれるようになってきている。2010年に名古屋市で開催された生物多様性条約第10回締約国会議（COP10）のころから、国際的な生物多様性オフセットの仕組みを作る必要があるという議論がなされているが、まだその実現には至っていない。

3.4.3 エコロード

道路や鉄道といった交通インフラは、その線状の形態のため生物の生息地を分断するという特徴を持つ。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、ライフ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（個体群という）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など、さまざまな影響を引き起こす。たとえば、環境省対馬野生生物保護センターによれば、対馬にしか生息せず国の天然記念物にもなっているツシマヤマネコは、1992年から2021年の間に交通事故により117頭も死亡している。近年の生息数は90～100頭程度と推定されているので、交通事故を減らすことが種の存続に不可欠であることがわかる。

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や鉄道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んでいる。環境アセスメントなど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次道路整備五箇年計画で初めて、エコロードづくりが提唱されるようになった^[23]。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

が位置づけられていることが多い^[23]。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いて、対症療法的に動物の移動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えないものも多い。また、アメリカ全土で年間8900万～3億4000万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^[24]、今後さらなる対策が必要である。

3.4.4 外来種の侵入

今日では日本の草地で一般的に見られるシロツメクサはもともとは外来種で、江戸時代にオランダから長崎に輸入されたガラス製品の緩衝材として持ち込まれ、それが日本で広がったといわれている。人間の移動とともに、さまざまな生物が意図してあるいは意図されずに運ばれている。交通による外来種の侵入は、生物多様性保全上の大きな課題である。環境省は、生物多様性国家戦略^[25]において日本の生物多様性を脅かす4つの危機を挙げているが、そのうちの一つが人間により持ち込まれたものによる危機であるとしており、外来種がこれに含まれる。

日本は他国と国土を接していないので、外来種の侵入はもっぱら船舶によるものである。たとえば、近年注目を浴びているものとしてヒアリを挙げることができる。ヒアリは南米中部に生息するアリで、2017年に日本で初めて確認された。国際貨物に紛れて船舶で運ばれたと考えられる。ヒアリは生態系に影響を及ぼすだけでなく、毒を持っているために人的な被害を及ぼす。よって、要緊急対処特定外来生物に指定され、侵入と定着を阻止することが求められている。

船舶に特徴的な例として、バラスト水に混入して生物が運ばれる例を挙げるができる。バラスト水は、船舶の運航を安定させるために、とく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いわれている。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ている。

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、病原菌やウィルスである。2003

年に飛行機を使った旅行者が重症急性呼吸器症候群（SARS）に感染していたことがわかり、中国をはじめとした各国は対応に追われた。同じく2003年には北米でウエストナイル熱が流行し、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た。そこで厚生労働省が、「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」という通知を出すに至った。人とももの移動がグローバル化し、感染症のパンデミックのリスクが度々指摘されていたが、それが現実のものとなったのが3.1節でも挙げたCOVID-19であった。

3.4.5 ネイチャーポジティブ

2022年12月のCOP15で合意された昆明・モンリオール生物多様性枠組では、2030年までのミッションとして「自然を回復軌道に乗せるために生物多様性の損失を止め反転させるための緊急の行動をとる」としている。これは、Lockeら^[26]によって提案されたネイチャーポジティブという考えに沿っている。つまり、2020年を基準とし、ゼロネットロス（zero net loss）を実現し、2030年までに回復基調に乗せ、2050年までに完全回復するというものである（<https://www.naturepositive.org> 参照）。2050年の目標達成には、地球システムの安定性と回復力を守り、将来世代を含む地球上のすべての生命を支えるのに十分な生態系が存在するまで、生態系の維持と回復を継続することが必要であり、その結果、生物多様性条約の2050年ビジョンである「自然と調和した生活」、気候変動枠組条約の2050年カーボンニュートラル目標、SDGsを実際に達成することが可能になるとしている^[26]。これまで生態系や生物多様性に対する影響をいかに小さくするか、あるいは環境ミティゲーションのような仕組みで、いかに影響をゼロにするかが議論されてきたが、自然をプラスに持っていこうという目標が初めて合意されたことになる。昆明・モンリオール生物多様性枠組の2030年ターゲットでは、3.1節で紹介した30by30に加えて、劣化した生態系の30%の地域を効果的な回復下に置くといった目標が掲げられている。COP15を受けて改定された日本の最新の生物多様性国家戦略においてもネイチャーポジティブがサブタイトルに加わり、国際的な動きに呼応した。

3.5 環境問題が促す企業経営の変革

環境問題が深刻になる中で、民間企業は政府や地方公共団体が定める環境に関わ

る規制に縛られることになった。そのことが新たな技術革新を促した例も数多い。企業の社会的責任（Corporate Social Responsibility, CSR）の一環として環境改善につながる活動を行うことも一般的になった。しかし、切迫する地球環境問題は、民間企業にさらなる大きな変革を求めつつある。すなわち自然資本経営への移行である。自然資本は、森林、土壌、水、大気、生物資源など、自然によって形成される資本（ストック）のことで、自然資本から生み出されるフローを生態系サービスとして捉えることができる。自然資本の価値を適切に評価し、管理していくことが、企業の経営の持続可能性を高めることにつながる。この自然資本の考え方を経営に取り入れた企業に投資がなされるようになってきている。

2015年に気候関連財務情報開示タスクフォース（Task Force on Climate-related Financial Disclosures, TCFD）が設立され、気候変動が企業の財務に及ぼす影響を具体的に開示することが求められるようになった。これは企業にとっても気候変動への対応が投融資を受けるために不可欠になったことを意味する。TCFDの報告書^[27]では、運輸グループは、航空貨物輸送、航空旅客輸送、海運、鉄道輸送、トラックサービス、自動車・部品の業種が含まれるとし、二つの主要な要因から財務的な課題に直面する可能性が高いとされている。一つは、政策立案者が交通事業者の排出と燃焼効率に対し、より厳しい目標を設定しつつあること。もう一つは、低排出・低燃費の輸送機器に関する新技術が、競争および投資環境の変化を引き起こしていることである。これらを踏まえ、気候変動に関わる情報開示のあり方が説明されている。

気候変動と同様に自然環境についても、2021年に自然関連財務情報開示タスクフォース（Taskforce on Nature-related Financial Disclosures, TNFD）が設立され、その枠組みが2023年9月に公表された。TNFDは、TCFDの構成を引き継いでおり、開示が推奨される全14項目のうち、11項目はTCFDで開示が求められているものである。TNFDで追加された項目のうちの一つは、優先地域である。世界のどこで排出されても基本的には同じように地球の気候変動に影響を及ぼすGHGと異なり、自然環境においては地域により重要性が異なる。重要な自然関連のインパクトやリスクがあるとされる地域と、生態系の劣化が著しく進んでいる地域の両方の条件を満たす地域を優先地域として情報を開示することを求めている^[28]。

このTCFD、TNFDの登場によりすべての企業にとって、気候変動対策と自然環境保全をその経営に盛り込むことが不可欠になり、地球環境問題に対応しないことは企業の存続に関わるリスクとなった。逆に、国外における近年のBEVやモビリ

ティシエサービスの急速な普及を見てわかるように、地球環境問題が新たなビジネスチャンスを生み出している。

3.6 まとめ

近代の交通と技術の発達に伴ってさまざまな環境問題が生じ、政府等が環境に関わる規制を強めてきたのが、交通と環境の歴史であった。しかし、気候変動、生物多様性喪失という地球規模の環境問題が私たち人類の存続に大きな影を落とすようになり、カーボンニュートラル、ネイチャーポジティブという目標を達成するためにこれまでになかったような社会変革が求められている。交通もその例外ではない。COVID-19のパンデミックにより、私たちは全世界的に同時に移動が制限されるという特殊な経験をした。オンラインで会議をしたり、授業を受けたり、意外に実現できることがわかった一方で、移動の自由を制約されることがいかに大きなストレスになるのかを目の当たりにした。2020年はパンデミックにより社会的、経済的活動が落ち込み世界の二酸化炭素排出量は6.4%（23億トン）減少した^[29]。パリ協定で努力目標とされた気温上昇を1.5度未満に抑えるためには2030年までに毎年7.6%ずつ削減しなければならない。6.4%の減少でも到底足りないのである。私たちに求められている社会変革がいかに難しいことが容易に理解できるだろう。交通が環境に影響を及ぼす時代から、環境が交通のあり方を決める時代に入りつつあるのかもしれない。

参考文献

- [1] Meadows, D. H., *The Limits to growth: a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*, Universe Books, 1972.
- [2] Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. and Foley, J. A., "A safe operating space for humanity", *Nature*, Vol. 461, No. 7263, pp. 472-475, 2009.
- [3] Steffen, W., Richardson, K., Rockstrom, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B. and Sörlin, S., "Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet", *Science*, Vol. 347, No. 6223, 1259855, 2015.
- [4] Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., Petri, S., Porkka, M., Rahmstorf, S., Schaphoff, S., Thonicke, K., Tobian, A., Virkki, V., Wang-Erlandsson, L., Weber, L. and Rockström, J., "Earth beyond

- six of nine planetary boundaries”, *Science Advances*, Vol. 9, No. 37, eadh2458, 2023.
- [5] IPCC, AR6 climate change 2021: the physical science basis, 2021.
- [6] WMO, “Global temperatures set to reach new records in next five years, 2023”. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/global-temperatures-set-reach-new-records-next-five-years> (2023年10月29日閲覧)
- [7] IPBES, Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services (summary for policy makers), 2019.
- [8] Ruckert, A., Zinszer, K., Zarowsky, C., Labonte, R. and Carabin, H., “What role for One Health in the COVID-19 pandemic?”, *Can J Public Health*, Vol. 111, No. 5, pp. 641–644, 2020.
- [9] OECD, “Transport and the environment, Paris”, p. 131, 1988.
- [10] OECD, 『交通と環境』, 日本経済調査協議会, p. 212, 1993.
- [11] 国立環境研究所, 「環境技術解説——自動車リサイクル技術」, 2023. <https://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=67> (2023年10月29日閲覧)
- [12] European Environment Agency, Landscape fragmentation in Europe : Joint EEA-FOEN report, 2011.
- [13] IEA, CO₂ emissions in 2022, 2023.
- [14] 桃田健史 「【2023年最新】EVの普及率はどのくらい？日本と世界のEV事情を解説」, 2023. <https://evdays.tepco.co.jp/entry/2021/09/28/000020> (2023年10月29日閲覧)
- [15] Holland, S. P., Mansur, E. T., Muller, N. Z. and Yates, A. J., “Are There Environmental Benefits from Driving Electric Vehicles? The Importance of Local Factors”, *American Economic Review*, Vol. 106, No. 12, pp. 3700–3729, 2016.
- [16] Moreno, C., Allam, Z., Chabaud, D., Gall, C. and Pratlong, F., “Introducing the ‘15-Minute City’: Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities”, *Smart Cities*, Vol. 4, No. 1, pp. 93–111, 2021.
- [17] Li, S., Jianwei, X., Yang, L. and Zhang, F., *Transportation and the environment : a review of empirical literature*, World Bank Group, 2020.
- [18] Li, S., Liu, Y., Purevjav, A.-O. and Yang, L., “Does subway expansion improve air quality?”, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 96, pp. 213–235, 2019.
- [19] 環境省大臣官房環境影響評価課, 「環境アセスメント制度のあらまし」, 2023.
- [20] 森本幸裕・亀山章, 『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.
- [21] Schamberger, M. and Krohn, W. B., “Status of the Habitat Evaluation Procedures”. *US Fish & Wildlife Publications*, Vol. 48, 1982.
- [22] Weems, W. A. and Canter, L. W., “Planning and operational guidelines for mitigation banking for wetland impacts”. *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 15, No. 3, pp. 197–218, 1995.
- [23] 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.
- [24] Loss, S. R., Will, T., Loss, S. S. and Marra, P. P., “Bird–building collisions in the United States: Estimates of annual mortality and species vulnerability”, *The Condor*, Vol. 116, No. 1, pp. 8–23, 2014.
- [25] 環境省, 「生物多様性国家戦略 2023–2030 ——ネイチャーポジティブ実現に向けたロードマップ」, 2023.
- [26] Locke, H., Rockström, J., Bakker, P., Bapna, M., Gough, M., Hilty, J., Lambertini, M., Morris, J., Polman, P. and Rodriguez, C. M., “A nature-positive world: the global goal for nature, 2021”. https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/NaturePositive_GlobalGoalCEO.pdf
- [27] TCFD, Implementing the recommendation of the task force on climate-related financial disclosures, 2017.
- [28] TNFD, Recommendations of the taskforce on nature-related financial disclosures, 2023.

- [29] Meinhardt, J., Radke, J., Dittmayer, C., Franz, J., Thomas, C., Mothes, R., Laue, M., Schneider, J., Brunink, S., Greuel, S., Lehmann, M., Hassan, O., Aschman, T., Schumann, E., Chua, R. L., Conrad, C., Eils, R., Stenzel, W., Windgassen, M., Rossler, L., Goebel, H. H., Gelderblom, H. R., Martin, H., Nitsche, A., Schulz-Schaeffer, W. J., Hakroush, S., Winkler, M. S., Tampe, B., Scheibe, F., Kortvelyessy, P., Reinhold, D., Siegmund, B., Kuhl, A. A., Elez Kurtaj, S., Horst, D., Oesterhelweg, L., Tsokos, M., Ingold-Heppner, B., Stadelmann, C., Drosten, C., Corman, V. M., Radbruch, H. and Heppner, F. L., "Olfactory transmucosal SARS-CoV-2 invasion as a port of central nervous system entry in individuals with COVID-19", *Nat. Neurosci.*, Vol. 24, No. 2, pp. 168-175, 2021.

