

グレーインフラからグリーンインフラへ

自然資本を生かした適応戦略

北海道大学農学研究院教授 中村 太士

1. はじめに

日本の人口は、飢饉や疫病、戦争等で一時的に減少する時期や地域はあったとしても、全体的に常に増加してきた。鎌倉幕府成立時(1192年)757万人、室町幕府成立時(1338年)818万人、江戸幕府成立時(1603年)1227万人、明治維新(1868年)3330万人、現代(2000年)1億2693万人である。しかし、上昇を続けてきた日本の人口も、2005年以降、減少に転じ、長い少子高齢化時代に入ります。この傾向は、特に地方では深刻で、北海道の人口は、本州以上に急激に減少する。道東や道北の多くの市町村人口は、今後2005年から2035年で約40%低下し、人口規模は1950年代前半に逆戻りすると推定されている。こうした人口減少によって、都市圏への人口集中はますます進み、地方の過疎化と農地や人工林の放棄が、現在問題となっている。

日本社会が抱えるもう一つの大きな問題は、戦後復興期や高度経済成長期に造られた道路、鉄道、病院、学校、水道などの社会資本の老朽化である。これらの資本はグレーインフラと呼ばれ、トンネル崩落事故に象徴されるように、多くはすでに老朽化し、今後莫大な維持費を必要とする。例えば、建設後50年以上経過した社会資本の割合を2010年度と20年後で比較すると、道路橋は約8%が約53%に急増する。河川管理施設である排水機場・水門等についても約23%が約60%、下水道は約2%が約19%、港湾岸壁は約5%が約53%と急増する。そして、維持管理・更新に従来通りの費用がかかると仮定すると、2037年度には維持管理・更新費が投資総額を上回り、必要な更新費が得られなくなると国は試算している。

そして、この特集号で議論されている気候変動に伴う大規模台風、豪雨頻度の増加である。2014年8月20日未明から1時間に100mmを超える大雨が降り、広島市において広範囲に斜面崩壊、土石流が発生した。多くの家屋が全壊し土砂で埋めつくされ、死者72名、行方不明者2名（2014年9月5日現在）の大災害となった。積乱雲が次々と発生し大雨が降り続くバックビルディング現象がメディアでも報じられ、これも海面水温が高く水蒸気が供給されやすいことが原因とも言われている。

人口の減少と農林地の管理放棄、社会資本の老朽化と維持管理費の拡大、そして温暖化に伴う豪雨頻度の増加と自然災害の頻発、これだけ一度に問題が山積すると、日本の未来を暗く感じる読者も多いと思う。しかし、筆者は、これらの社会・自然環境の変化が、実は戦後の経済発展期とは異なる新たな価値観と可能性を提供していると考えている。五木寛之の『下山の思想』に書かれているように、山頂を目指して登山する時（人口増加期）には見えなかったモノが、下山する時（人口減少期）にはゆっくりとした背景として見えてくる。経済的な豊かさを目指した高度経済成長期には見えなかった新たな価値観と可能性が、人口減少によって今後見えてくるかもしれない。

2. 自然資本とグリーンインフラストラクチャー

これまで経済学者は労働と資本によって資源に加えられた価値を「付加価値」と呼び、それを経済における絶対的価値として取り扱ってきた。そして、資源を採取する際に起こる大気・水質・土壌汚染、生物多様性と生態系サービスの劣化をコストとして考慮してこなかった。しかし、地球環境の危機が、人間の経済活動や健康に甚大なる影響を与えることが明らかになった今、劣化する自然の価値を見える化し、そのコストを明らかにすることによって、秩序ある経済活動を促す必要が生まれてきた。人間の生活を可能にする地球上にある自然資源（土壌、大気、水、動植物）とこれらの資源から生み出される生態系サービスを「自然資本（Natural Capital）」と呼ぶ（UNEP Finance Initiative 2012）。2012年6月、リオデジャネイロで開催された国連持続可能な開発会議、通称「リオプラス20」で、50以上の国々と80以上の民間企業が、この自然資本の経済価値を、ビジネスの意思決定や各国の

国民経済計算に組み込むことに合意した。

この自然資本を賢く利用し、社会と経済に寄与する国土形成手法をグリーンインフラストラクチャー（以下、グリーンインフラ）と呼ぶ。この概念を先進的に議論し活用してきた EU では、「戦略的に計画・維持され、生態系サービスの提供と生物多様性の保全に資する質の高い自然や半自然生態系のネットワーク」をグリーンインフラと定義している（European Union 2013）。EU では 2013 年 5 月、土地利用を含めて体系的に組み込むことを目指す新たな戦略が承認された。安倍首相も 2014 年 2 月の衆議院予算委員会で「我が国の豊かな自然を活用しながらグリーンインフラの整備を進めていくことは、経済、社会両面で有効であり、重要である。……グリーンインフラという考え方を取り入れて、将来世代に自然の恵みを残しながら、自然が有する機能を防災、減災等に活用していきたいと考えております」と述べている。

急激な人口減少社会では、農林地ばかりか、グレーインフラを維持することも、今後ますます難しくなるだろう。これまで通りの生活圏を前提に、公共投資を続けることは明らかに無理があり、土地利用の集約化を進めざるを得ない。こうした土地利用変化の流れを生かしながら、洪水氾濫区域など危険区域からのヒトの撤退が可能になれば、その場所は、現在急激に姿を消している攪乱依存種（攪乱がなくなると絶滅する種）を保全できる自然再生区域になるだろう。そして同時に、地球温暖化に伴う台風、豪雨や洪水規模の増加に対応した緩衝空間として、防災的にも機能すると思われる。まさに、グレーインフラからグリーンインフラへの発想の転換である。

グリーンインフラは、以下のような多くの利点を持つ（CBD 2009 を参考にした）。

- ①グレーインフラと比較して、費用効率が高く利用しやすい。
- ②国・地方公共団体のそれぞれのレベルで取り組むことが可能である。
- ③時間スケールが短期でも長期でも効果が得られ、長期的に効果が増加し得る。
- ④生態系サービスに支えられた社会生活が継続できる。
- ⑤伝統的な地域特有の知識や文化的価値を統合し、維持することができる。
- ⑥吸収源を保存し、生態系の劣化と損失による排出を低減し、緩和に貢献する。

⑦生物多様性の保全と持続可能な利用にも貢献する。

⑧劣化・損失時にも自立的な回復が可能で、レジリエンスが高い。

一方で、グリーンインフラと比べて強度的には弱く、客観的機能評価が難しいなどの課題もあるが、人口減少も含めた日本の大きな社会構造変化を考えると、今後推進すべき施策であると考えられる。

3. グリーンインフラとしての森林、河川、湿地生態系ネットワーク

森林、河川、湿地は様々な生態系サービスを持っており、今後その機能を劣化させずに生かしていくことが肝要である。

森林は古くから多面的機能が評価され、森林法のもと保安林制度によって保全されてきた。現在、保安林は17種類に分けられているが、その中で気象変動やその後の災害防止に関連した機能区分には、①水源涵養保安林、②土砂流出防備保安林、③土砂崩壊防備保安林、④飛砂防備保安林、⑤防風保安林、⑥水害防備保安林、⑦潮害防備保安林、⑧干害防備保安林、⑨防雪保安林、⑩防霧保安林、⑪なだれ防止保安林、⑫落石防止保安林、⑬防火保安林がある。これ以外の⑭魚つき保安林、⑮航行目標保安林、⑯保健保安林、⑰風致保安林も、生態系サービスを発揮するグリーンインフラとしては重要な役割を果たしていると言える。

先に述べた広島での災害についても、メディアの報道内容は、集中豪雨と脆い地質によって発生した斜面崩壊と土石流の発生機構に集中した。特に被害が大きかった安佐南区の住宅地では、傾斜が10度を超える急な立地であったため、土石流の流れが弱まることなく流れ下ったと分析している。確かにその通りではあるが、もう少し本質的な問題はその住宅地の立地がどのような地形プロセスで形成されたかである。地形図を見れば明らかのように、被災地区の住宅地がある場所の多くは「沖積錐」と呼ばれる地形であり、土石流が繰り返し氾濫堆積し形成された土石流扇状地の上である（写真1）。いくら砂防ダム等の施設を設置しても、計画を上回る大規模崩壊が起きれば防ぎようがない。なぜ、あの場所を宅地開発してしまったのが本質的な問題であり、保安林制度や土砂災害警戒区域等で土地利用規制がなされていれば、人的被害は最小限に抑えられたはずである。森林を残すということは、土地

利用規制につながり、グリーンインフラとして機能する。

保安林は戦後、一貫して増加し、現在、重複指定を排除した実面積で1280万ha程度に及ぶ。これは森林面積の約47%、国土面積でも約31%に相当する。指定されている保安林の多くは、水源かん養保安林、土砂流出防備保安林、保健保安林であり、全体の96%以上を占め、国有林の90%、民有林の30%が今や保安林指定されている。このように国土の森林面積の約半分が保安林指定されていることは、将来のグリーンインフラとしての位置づけを考えると心強い。課題は、人工林も含めて適応策としての管理と指定をどのように効率的に実施するかである。この点については後述する。

河川事業においても、グリーンインフラの考え方はすでにあった。1979年に始まった総合治水対策がその一つである（井上・中村、1993）。高度経済成長期の人口増加期、多くのグレーインフラが整備され、都市が拡大した。都市化とともに地面の多くはコンクリートとアスファルトに覆われ、河川は直線化され、宅地造成のため多くの森林が伐採された。その結果、流域の浸透能（雨が地面に浸透する能力）および保水機能が低下し、河川の遊水機能も大きく低下した。その結果、同じ降雨量であっても、開発前よりも洪水のピーク流量が大きくなり、洪水が到達する時間も早くなる傾向が全国各地で確認されるようになった。そのため国は、ダムや堤防のみの洪水対策には限界があると判断し、自然地の保全、雨水貯留施設、洪水調整池、浸透性舗装、河道内遊水地の整

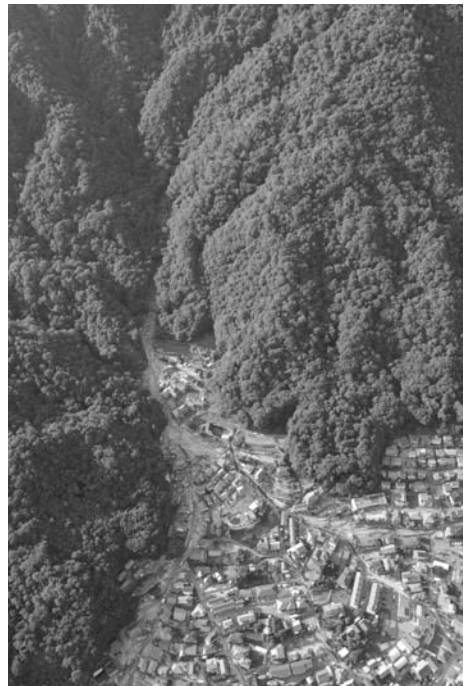


写真1 沖積錐の上に建てられた住宅街（2014年8月広島土砂災害被災状況：アジア航測提供）

備などを流域全体で行うことによって対処しようとした（写真2）。その後、必ずしも指定されたすべての流域で総合治水対策がうまく実施でき、機能したとは言い難いが、この考え方は、今後の河川における適応策を考える上で要になると考えている。自然地や洪水調整池、遊水地、浸透性舗装は、グリーンインフラそのものであり、効率的な配置を今後議論しなければならない。

日本の湿地面積の約86%を占める北海道は、湿地の減少面積でも1位で、国土地理院によると大正時代に1770km²あった湿地面積は、現在では708km²程度に減少している。湿地を大きく減少させた理由は、農地開発である。北海道に特徴的に見られた蛇行河川の背後には、かつて広大な後背湿地が広がっていた。その蛇行河川を直線化し、河床低下を促し、後背湿地の地下水を下げ農地整備を行ってきた。日本最大の湿地帯を持つ釧路湿原も例外ではなかったが、海に近く水位の高い谷地が広がる湿地開拓は困難をきわめ、牧草地も湿原周辺部に留まった。その結果、現在の釧路湿原は生物多様性の保全のみならず、治水計画、遊水地としての役割を担っており、広大なグリーンインフラとして機能している（写真3）。北海道の後背湿地帯に作られた農地は、人口減少とともに放棄され、排水機能の低下とともに元の湿地に戻る場所が増えてきた。こうした箇所をグリーンインフラとして取り込むことができれば、適応策として機能し、同時に自然再生が可能になる。次章でその可能性を述べたい。



写真2 北海道帯広市洪水調整池



写真3 遊水地としての釧路湿原

4. 課題と展望

国土の67%を占める森林が、今後も有効なグリーンインフラとして機能することは間違いない。しかし、日本では、林業として成り立たない等の理由から管理放棄され、間伐も実施されない人工林が全国に増えており、台風等による林分全体の倒壊が心配されている（中村 2011）。放棄されて高い密度のまま推移した人工林では、枝も枯れあがり、細く、樹冠が樹木の最上部にのみ発達する不安定な形状になる。枝が枯れあがった林分においては、たとえ間伐を入れても樹冠の偏った形状を変えることはできない。そのため、重心が樹木頂部に位置する危険な状態で風が当たることになり、風倒に対してきわめて弱い。大規模風倒は、全国各地に見られ、河川に流出した大量の倒流木は、河川に天然ダムを形成したり、一気に下流域に流出し橋脚に集積して災害を起こす原因になる（写真4）。

また、本州の里山を歩くと、放棄人工林のあちこちに、竹が侵入している箇所が見られる。これらの竹林は、管理されないまま旺盛に、そして暴れるように拡大している。かつて、村人たちは様々な用途に竹を利用し、タケノコも貴重な食料だった。そうしたバランスが離農、離村とともに崩れ、里山の景観や生物多様性にも大きな影響を与えている。また、密生した竹林が、



写真4 1991年9月九州を襲った台風によって倒された人工林

倒壊している場所も多い。倒壊した竹は、樹木同様、斜面の不安定化をもたらし、洪水によって下流に運ばれ、竹の集積による洪水被害をもたらす可能性も高い。

さらに、人間の里山からの撤退とともに、野生動物による被害が顕在化している。ニホンジカ（以下、シカと記す）による植生破壊は、全国で発生している。北海道でもシカ（エゾシカ）による食害で、樹皮がなくなり枯死する個体が多数発生している。シカ被害の激しい神奈川県は丹沢山系では、林床植物が毒のあるバイケイソウなどの一部の植物を除いて、一木一草すべて食い荒らされ、鉦質土壌がむき出しになっている。その結果、雨が降ると土壌侵食が発生し、時にはガリー侵食にまで発達し、緑化工事が必要になってきている。元々は、放棄人工林が過密状態になり、光不足に伴う林床植物の消失による侵食と風倒の恐れがあると考えられた。そのため、神奈川県は水源環境税を導入し、その資金によって間伐を行い、こうした状況を改善しようとした。間伐によって林内に光が入り、林床植生は回復したが、結果的に繁茂した下層植物は、シカを誘引することになってしまった。皮肉な結果である。

野生動物による被害の増大に対しては、1000万haに拡大したすべての人工林を、今後も木材生産しながら管理していくことは難しく、生産性の悪い人工林については自然林化を考える必要があるだろう。また、猟友会任せの有害動物駆除から、森林官自ら実施する野生動物管理へと制度を改める必要がある。野生動物管理の制度のもとでは、シカなどの野生動物を資源として持続可能な形で利用していくことが求められる。

35年前に総合治水対策が始まったように、堤防や護岸で安全を確保してきた日本の河川は豪雨に脆弱である。欧米のライン川やテムズ川、ドナウ川、ミシシッピ川などの大河川が500年から1万年に一度の洪水規模に対応しているのに対し、日本は30年に一度の洪水が治水計画上の目標とされることが多く、その目標すら60%程度しか達成していない。気候変動下では、それを超える洪水（超過洪水と呼ぶ）は、必ず起きると考えるべきで、超過洪水による破堤を防ぐためにも、グリーンインフラを整備しなければならない。

1980年代、北海道の千歳川流域の治水は放水路工事によって目標を達成

しようとしたが、自然保護団体等の強い反対に遭い、複数の遊水地による洪水対策に変更した。現在 150～280ha に及ぶ広大な遊水地が6カ所建設されている（中村 2014）。これらの防災施設は、湿地景観を呈しており、雪解け時には多くのハクチョウ、マガン、オオヒシクイが集まり（写真5）、夏にはミズアオイが咲き乱れる。釧路湿原に集中する国の特別天然記念物であるタンチョウも、現在道内各地の湿地や放棄農地に拡散し始めており、これら遊水地は重要な繁殖場所として機能するだろう。新千歳空港に降りて、タンチョウが雪原に舞う姿を見られるのは、決して夢物語ではない。

千歳川遊水地の事例から分かるように、グリーンインフラの整備は自然再生と一体的に進めるべきである。グリーンインフラは、先に利点としてあげたように、生物多様性の保全に大きく寄与する。生物多様性豊かな地域社会は、地域産業にも付加価値をもたらし、エコツーリズムと安心・安全な食文化を提供できる。人口減少社会で地域コミュニティの存続が心配される中、グリーンインフラの整備は、地域に新たな社会・経済的価値を生み出す。コウノトリ米、トキ米など、減農薬、無農薬、有機農産物が着実に売れている現状がその可能性を示している。

2010年に環境省は全国レベルの生物多様性地図化を実施した（<http://www.biodic.go.jp/biodiversity/activity/policy/map/>）。座長を務めた筆者が言うと自画自賛になるが、こうした試みは画期的であった。次に必要なのは、



写真5 千歳川舞鶴遊水地（長沼町）に飛来しているハクチョウの群れ

生態系サービスの地図化である。グリーンインフラの効率的な配置や整備を実現するためには、生物多様性と生態系サービスの地図化がどうしても必要になる。当然のことながら、両方の高い地域を優先的に保全することになる。適応策を考える上では、特に生態系が持つ調節サービスに注目すべきであろう。また、管理放棄された人工林を効率的に見つけ、対応を検討することも重要であろう。さらに、人口減少に伴う土地利用の変化を先取りし、グリーンインフラへ転換することができれば、洪水や土砂災害危険地からヒトの撤退が可能になる。地球温暖化に伴う日本の適応策は、自然・社会システムの大きな変化を見据えながら検討すべき時期に来ている。

〔引用文献〕

- CBD (Convention on Biological Diversity) (2009) Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change. Montreal, Technical Series No. 41: 126 pp.
- European Union (2013) Building a Green Infrastructure for Europe. ISBN 978-92-79-33428-3 doi:10.2779/54125 (http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green_infrastructure_broc.pdf からダウンロード可能)
- 井上涼子・中村太士 (1993) 流域環境整備における流出抑制施設の役割－札幌市伏籠川の事例－. 水利科学 212: 45-65.
- 中村太士 (2011) 治山事業百年の歴史と将来展望－生物多様性と生態系サービスの視点から－. 水利科学 322: 68-81.
- 中村太士 (2014) 人口減少社会における自然再生. 生物多様性コラム The MIDORI Press. http://www.midori-press-aeon.net/jp/column/20140523_post_16.html.
- UNEP Finance Initiative (2012) The Natural Capital Declaration (<http://www.naturalcapitaldeclaration.org/wp-content/uploads/2013/10/NCD-booklet-English.pdf> からダウンロード可能)