

社会資本整備のLCAにおける空間バウンダリ設定方法に関する検討*

Study on the Setting Method of System Boundary in Life Cycle Assessment of Infrastructure Provision Project*

森本 涼子**・柴原 尚希***・加藤 博和****

By Ryoko MORIMOTO**・Naoki SHIBAHARA***・Hirokazu KATO****

1. はじめに

社会資本整備においても、環境側面からの評価の必要性が高まっている。社会資本整備プロジェクトは規模が大きく、その影響範囲は多岐にわたる。そのため、評価においては本来、それらをすべて対象範囲に含めるべきである。そこで加藤ら¹⁾は、Life Cycle Assessment (LCA) の考え方を適用し、建設する構造物のライフサイクルにわたって発生する環境負荷はもとより、その利用による活動に起因する環境負荷を含めた評価を行うことを提案している。

しかしながら、何をどこまで評価対象とするのかを決定することには恣意性が付きまといやすい。事例によってその都度検討することになるが、結果を左右する要因となるため、常にその妥当性が議論的となる。大きな負荷要因を見落とした推計結果は信頼性を持たないため、可能な限り影響範囲を推計に含めなければならない。しかし、地理的・時間的に範囲が大きくなるにつれて因果関係があいまいになったり、推計や予測が含まれたりして不確実性が増加する。信頼性を高めるために対象範囲を広く取っているはずが、かえって信頼性が下がってしまうことがある。ISO において LCA の評価範囲設定には、基準が定められているが、社会資本整備を対象とする場合には適用できない基準であるため、新たな判断基準が必要である。

本研究は、社会資本整備の LCA 実施における評価範囲(空間バウンダリ)について、その設定の指針を示すことを目的とする。その際、1)必要な要素を漏らさず検討に含めることと、2)不確実性の管理ができるように割り切って、影響範囲を省略して評価対象範囲を設定することの2点について検討する。なお本研究においては、その事業を行った場合(With)と行わない場合(Without)との比較(With-Without)をする場合を主に論じている。

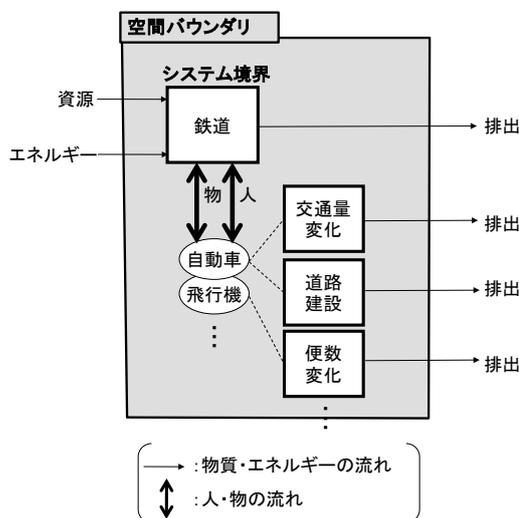


図-1 システム境界と空間バウンダリの関係

2. 空間バウンダリの定義と設定の手順

LCA で評価対象とする範囲を「システム境界(System boundary)」という。これは、物質・エネルギーの流れを追って入出力フローを特定することで、それに伴うライフサイクルを構成する各プロセスの取捨選択を行い、調査範囲と自然界との境界を決めるものである。

本研究では、システム境界を展開した「時空間バウンダリ」によって、評価対象範囲を考える。システム境界が物質・エネルギーの流れに着目したアプローチであるのに対して、時空間バウンダリは人・物の流れに着目するものである(図-1)。これは、社会資本整備とはまさに、それを利用する人や物の流れを変えることを目的とするものであることに対応している。その結果生じる交通量変化、新たなインフラの追加などを、推計対象として含まれるべきであると考えているのである。

人・物の流れを追えば、最終的には社会全体といった広い影響範囲になってしまうこともありうる。これは、社会資本はもとより、携帯電話のように社会を変革させるようなインパクトを持った製品にも言えることである。この場合、携帯電話は単体製品というよりも、それが整備された環境を支える一種のインフラシステムとして捉えられるべきであろう。なお、「時空間」のうち時間については、柴原ら²⁾が既報で検討を行っているので、本研究では空間バウンダリについて議論する。

*キーワード：地球環境問題

**学生会員，修(環境)，名古屋大学大学院環境学研究科 研究生
(〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C1-2(651))

TEL：052-789-3828，FAX：052-789-1454

E-mail：rmori@urban.env.nagoya-u.ac.jp

***正会員，博(環境)，名古屋大学大学院環境学研究科 助教

****正会員，博(工)，名古屋大学大学院環境学研究科 准教授

空間バウンダリを広くとることは実務上困難なので、LCA の手順を定めた ISO の規格では、調査目的との整合性があれば、推計の際において評価範囲を影響範囲全体から省略して設定することが認められている³⁾。ただしその場合は、設定の正当性を明確に示し、それにより分析可能な施策や解釈の限界を明らかにすることが求められている。

評価範囲を影響範囲全体から省略して設定する際には、取捨選択の基準である「カットオフ基準」があり、全体の質量(またはエネルギー)の 95%または 98%が考慮されていれば残りの小さな素材や部品は省略できるというルールがある⁴⁾。しかし、社会資本整備に伴う事象は必ずしも質量で測れるものではないため、別の枠組みが必要である。

社会資本整備の影響は多岐にわたり、そのすべてを把握することは困難であるが、社会に大きな影響を与える重要な要素が多く、安易に省略するべきではない。よって、1)影響範囲をもらさず特定するのか、2)どこかで割り切って省略するのか、が議論となる。そこで 1)を 3 章で、2)を 4 章でそれぞれ検討する。本研究で提案する空間バウンダリ設定の手順は、図-2 のとおりである。

3. 影響範囲にある要素の特定

事業によって影響を受ける要素とは、事業実施前後で変化する要素である。それらを列挙する際に、見落としのないようにするための観点を整理する。

(1)費用便益分析の指標の活用

社会資本整備については、事業別にて費用便益分析マニュアル⁵⁾が制定されている。そこで便益・効果として挙げられている要素は考慮し、さらにその中から環境側面の強いものを選定するべきである。例えば道路ならば、便益は「走行時間短縮」「走行経費減少」「交通事故減少」について算出することとされている。このことから、道路建設のみならず、その上を走行する自動車の走行挙動や経路選択は考慮すべき要素であると考えられる。

(2)波及効果の把握

道路の費用便益分析においては、客観的評価指標として、並行区間の渋滞損失や旅行速度に加えて、鉄道やバス路線へのアクセス・都市の再生などについても評価を実施すべきとマニュアルでは規定されている。このことから、周辺のネットワークの交通量再配分後の状況や、鉄道やバスの利用促進による運行状況の変化・都市の土地利用の変化なども、事業による影響を受ける要素であるといえる。

これらは対象道路を直接利用しての活動ではなく、

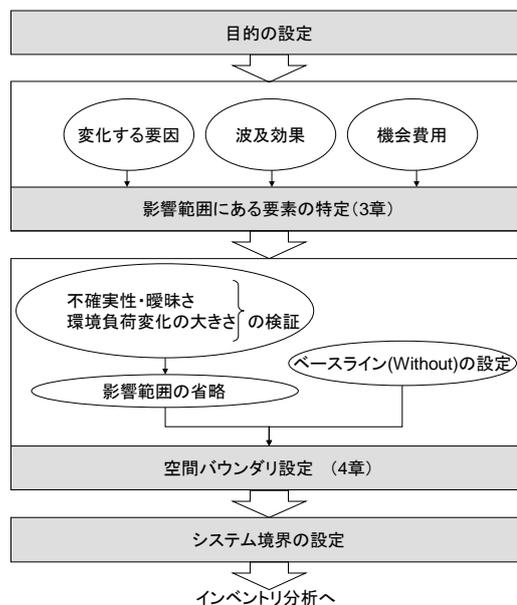


図-2 提案する空間バウンダリ設定手順

波及効果である。この要素を含めて評価することを、加藤ら⁶⁾は通常のバウンダリを拡張したものとしてとらえ、Extended Life Cycle Environmental Load (ELCEL)と呼んでいる。間接効果を理論的に把握する代表的な手法としては、産業連関分析や応用一般均衡分析がある。ただし、ここで挙げている波及効果とは異なり、他部門への波及を捉える手法である。様々な波及効果を積み上げ法で捉える LCA では、正確にすべてを捉えるには限界があるものの、詳細な状況の反映が可能であるので、波及効果を考慮する努力が必要である。

(3)機会費用

人の流れを追うにあたって、機会費用・機会損失について考慮すべき場合もあり得る。例えば、出張会議をやめてテレビ会議を選択すれば、移動時間がなくなり大きな時間の削減になる。その削減された時間でほかの仕事や娯楽などの活動が可能となる。その行動が結果に影響を与えると考える場合は、評価に含める必要がある⁶⁾。

4. 空間バウンダリ設定の考え方

(1)ベースラインの設定

評価対象プロジェクトを行った場合(With)と行わない場合(Without)の比較においては、ベースライン(Without)の状態の設定によって比較の内容が大きく変わり、空間バウンダリの設定も変わるので、ベースラインを慎重に決定し、その根拠とともに明記しなければならない。

事業の評価を行う場合、必ずしもライフサイクルを遡る必要がないことがある。例えば新幹線の運行状況を変化させて航空からの転換を促す場合、既存の新幹線を活

用するのであれば、新幹線の建設まで遡る必要はない⁷⁾。

さらに、交通活動の評価において、その対象となる人が1人鉄道に乗ろうが乗るまいが、鉄道の運行に変化はない。よって、その人に割り当てられる環境負荷排出量は変わると考えることも、社会全体で見れば環境負荷の排出に変化はないので無視すると考えることもできる。LCAの目的や対象となるプロジェクトの規模によって選択すればよい。

加えて、社会資本のライフタイムは長く、今後何十年もの評価が必要となるため、プロジェクトを行わないという仮定の状況をベースラインとして設定する必要がある。ベースラインの設定を1)現状のまま何も変わらない、2)施策を打たなくとも自然に変化が起きる、とするのか、もしくは3)他の対策がとられた状況を設定し、代替案比較とするのかも検討が必要である。例えば、踏切除却の事業を実施した場合、1)現状のまま何もなかった場合と比べれば、渋滞がなくなり環境負荷削減となるという推計結果が得られるかもしれないが、2)実際には自動車の技術革新が進んで、渋滞時にも環境負荷排出がなくなるかもしれない⁸⁾。あるいは、3)踏切に関しては現状のままにして、バイパスを充実させる施策をとることにより、経路転換が起り、渋滞は解消されるかもしれない。このように、ベースラインの設定によって、結果に大きな差が生じる。

(2)不確実性管理のための影響範囲の省略

3章で特定した影響範囲の中から、1)結果に大きな寄与をしないもの、2)起きる可能性が小さいため考えなくてもいいと思われるもの、3)不確実性が大きいもの、は省略する必要がある。さもないと、推計に莫大なデータが必要になり推計が困難になるばかりか、不確実性が増大して信頼性が損なわれてしまう。つまり、割り切る基準は、その事象の1)環境負荷排出量変化の大きさ、2)生起確率、3)不確実性の3要素によって決まる。

これらの検討にはリスクマネジメントの考え方が採用できる。ここでは、German Advisory Council on Global Change (WBGU)による原子力エネルギーなどの技術リスクや、感染症リスク・化学物質リスク・災害リスクなど、環境・技術リスクへの対応戦略を検討した報告書⁹⁾¹⁰⁾を参考に、リスクマネジメントの基本戦略を空間バウンダリの設定方法に採用する。

まず、リスクの特徴を「見える化」する。その尺度としては、リスク事象の発生確率・潜在的被害規模・不確実性などがある。そして、リスク領域のどこに位置するかを明らかにする。リスク領域とは、図-3に示すように、縦軸に事象の発生確率を、横軸に被害の程度をとり、領域を「通常リスク領域」「過渡的リスク領域」「禁止されるリスク領域」に区分したものである。次にリス

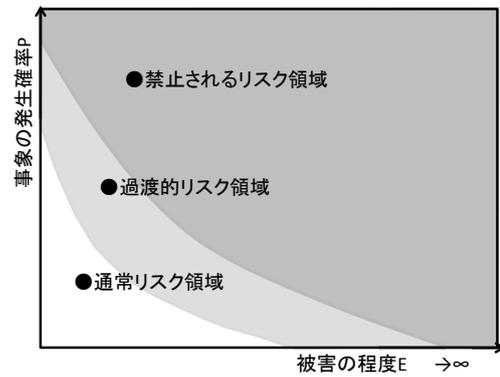


図-3 リスクマネジメントのためのリスク領域設定¹⁰⁾

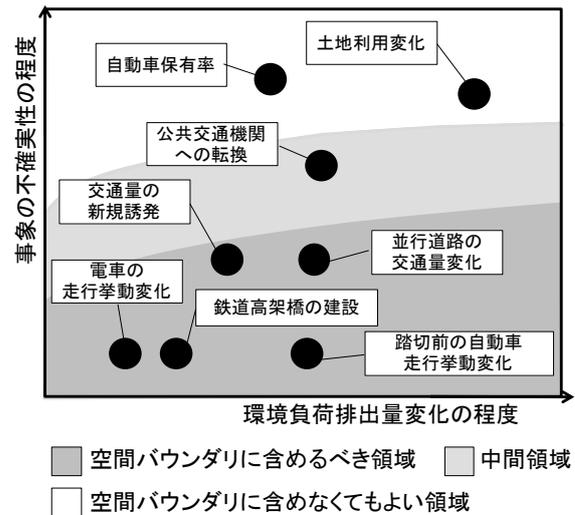


図-4 踏切除却事業 LCAにおける各要素のマッピング

ク領域へのマッピングから、許容できないリスクを許容可能なリスクに変換するなどの対策を検討する。

この図をLCAに採用し、リスク要因をシステムに含まれる各要素、横軸の被害の程度を環境負荷排出量変化の程度、としてあてはめる。ただし、縦軸の事象生起確率については、各要素による環境負荷排出量変化の不確実性(どのような変化が起きるかわからない)の程度をとる。リスク領域は、不確実性が高く被害の程度が小さくなるにつれて、空間バウンダリに「含めなくてもよい領域」「中間領域」「含めるべき領域」に区分でき、図-4に示すようになる。

前章(2)で例に挙げた踏切除却事業について、各要素をこのリスク領域に定性的に位置付けたのが、図-4である。踏切除却が直接影響する道路においては、その事象が発生することは明らかであり、どのような変化が起こるかも把握できているため、不確実性は小さいが、地理的・時間的に離れるほど、環境負荷排出量変化の不確実性が大きくなっていく。

不確実性の大きい事象をどう扱うかの判断基準は、その施策の特性によって決定すべきである。追加の調査

などにより、知識を高め不確実性を低減させることが可能なか、無視してしまうのかを判断しなければならない。もしくは、その事象が起きないような措置を検討することもできる。同様に、領域区分の線の引き方も、政策的な判断に依存する。被害(環境負荷排出量変化)と不確実性の割り切りの考え方によって、リスク領域の区分が変化し、推計に含めるべき事象かどうかが変化する。

なお、このマッピングは、推計前の空間バウンダリを決めるためのみならず、どのような考え方のもとで空間バウンダリが設定されたのか、各事象がどのような不確実性を持っているかを解釈の際に検証するツールとしても有用である。

5. 不確実性のある事象の取り扱い

「中間領域」や、不確実性・曖昧さが大きくても「含めるべき領域」にある事象は、空間バウンダリに含めるのか、省略してしまうのかの判断が難しい。そこで、不確実性を考慮してバウンダリに含める方法を検討する。

(1) データ・モデルの誤差表記

事象の不確実性は、1)データの精度、2)モデルの精度に依存する。追加の調査によって不確実性を低くすることができない場合でも、その事象の環境負荷排出量の変化が結果に与える影響が大きいと考えられる場合は、推計に含めた上で、不確実性の程度を検証できるようにしておくのが良い。

その方法として、幅をもった値という取り扱いで推計に含める方法を提案する。データの標準偏差や、モデルの R^2 値などから、取りうる結果の値の幅を求め、推計結果の表記を「 $X \pm Y$ 」とする。これにより、比較の際に上限・下限の値の場合も同じ結果になるかどうかの検証ができる。また、得られた結果の値と標準偏差の値を見て、その事象を推計に含めたことで生じる誤差が許容できる大きさかどうかの検証も可能である。

(2) 感度分析による検証

結果に対して各パラメータの感度分析を行うことで、

1) 特定のパラメータ変動による出力への寄与、2) 決定を覆すに足るほどの特定の入力変数の値の変化(switch-point analysis)が明らかにできる。感度分析の結果から、不確実なパラメータの変動の寄与が大きかったり、設定した値が Switch-point の近傍であったりした場合には、解釈の際に注意が必要である。

6. おわりに

本研究では、社会資本整備に LCA を適用する際の、

評価範囲の設定方法について検討した。LCA において、物質・エネルギーの流れから定められた評価対象範囲の「システム境界」に対して、社会資本整備に伴う人・物の流れから定めた評価対象範囲を「時空間バウンダリ」と定義した。その上で空間に着目して、影響範囲全体から評価対象範囲を切り取るための考え方を述べた。

影響範囲としては、With-Without で変化した要素を考えればよい。その要素を漏らさないように空間バウンダリとして特定するための観点を、費用対効果分析の指標の活用や、波及効果・機会費用の考え方を取り入れて整理した。また、ベースライン(without: 整備なしの場合)の設定によって、空間バウンダリも変化するため、その設定の重要性を述べた。

さらに、影響範囲には、信頼性が損なわれるような不確実な事象も含まれているため、推計を行う空間バウンダリを設定するにあたっては、不確実な事象の省略が必要となる。そこで、リスクマネジメントを援用し、1) 環境負荷排出量変化の大きさ、2) 不確実性の観点から検証を行う方法を提案した。

さらに、不確実性の大きい事象を推計に含める場合に、結果を一元的に表記せず、誤差の分の幅を持たせる方法を提案した。

参考文献

- 1) 加藤博和, 柴原尚希: ELCEL 概念による Social/Dynamic LCA への挑戦, 日本 LCA 学会誌, Vol.5 No.1, pp.12-19, 2009.
- 2) 柴原尚希, 加藤博和: 社会資本整備プロジェクト LCA を応用した「環境アセットマネジメント」手法の提案, 土木計画学研究・講演集, Vol.40, CD-ROM(137), 2009.
- 3) 石谷久, 赤井誠 監修: ISO14041/JIS Q 14041 & ISO TR 14049/JIS Q TR 14049 ライフサイクルアセスメント—インベントリ分析&適用事例—, 社団法人産業環境管理協会, 財団法人日本規格協会, 2001.
- 4) 伊坪徳宏, 田原聖隆, 成田暢彦: LCA 概論, 稲葉敦, 青木良輔監修, 社団法人産業環境管理協会, pp.33-36, 2007.
- 5) 国土交通省道路局: 道路・街路事業における「客観的評価指標」, 道路事業評価手法検討委員会審議結果まとめ, <http://www.mlit.go.jp/road/ir/iinkai>, 2003.
- 6) 森本涼子, 柴原尚希, 後藤直紀, 加藤博和: 環境効率指標を用いたテレビ会議と出張会議の LCA による比較, 土木計画学研究・論文集, Vol.26 No.1, pp.181-188, 2009.
- 7) Shibahara, N., Kato, H. and Hayashi, Y.: "A methodology for methodology for identifying lower carbon transport systems for inter-regional passengers: rail vs aviation", The 12th World Conference on Transport Research, USB(2454), 2010.
- 8) 森本涼子, 柴原尚希, 加藤博和: 自動車技術と交通需要の変化を考慮した道路事業のライフサイクルアセスメント, 地球環境研究論文集, Vol.17, pp.193-201, 2009.
- 9) German Advisory Council on Global Change (WBGU): "World in Transition: Strategies for managing global environmental risks", Springer, 1998.
- 10) 谷口武俊: シリーズ環境リスクマネジメント 1 リスク意思決定論, 「環境リスク管理のための人材養成プログラム」編, 大阪大学出版会, pp.118-130, 2008.