

GISを用いた静脈物流の資源循環支援システムのためのコンクリート系廃棄物発生量の予測とその輸送に関する調査研究

東京大学

助教授 野口 貴文

■ 研究代表者

野口貴文（東京大学 大学院 工学系研究科 建築学専攻 助教授）

■ 共同研究者

兼松 学（東京理科大学 工学部建築学科 講師）

田村 雅紀（首都大学東京 助手）

長井 宏憲（東京大学 大学院 工学系研究科 建築学専攻 助手）

北垣 亮馬（東京大学 COE 特任研究員）

藤本 郷史（東京大学 日本学術振興会特別研究員）

■ 実施期間

自 平成18年 9月 1日 至 平成19年 8月31日

平成19年9月

目次

1. はじめに.....	(1)
2. ecoMA の概要	(2)
2.1 ecoMA の特徴と必要性	
2.2 社会因子のモデル化:マルチエージェントシステム	
2.3 時間因子のモデル化:イベント駆動モデル	
2.4 従来の ecoMA における地理因子のモデル化:GIS 統合の前段階について	
2.5 まとめ	
3. GIS の実装と可視化の現状	(13)
3.1 輸送距離の算出:GUI 版 ecoMA の概要	
3.2 建設・解体需要の地理的な分布の設定	
3.3 現状の問題点	
4. arcGIS での距離計算と、ecoMA での活用方法	(20)
4.1 ArcGIS 9.2 を用いた、手動による道路距離計算の方法	
4.2 ArcGIS 9.2 を用いた、半自動による道路距離計算の方法	
4.3 GIS データの選定	
4.4 GIS 解析結果の ecoMA での利用について	
4.5 まとめ	
5. 統計情報の収集	(32)
5.1 統計情報の入手と活用方法	
5.2 ecoMA に必要なデータタイプ	
5.3 建設・解体需要予測	
5.4 データ整備の問題点	
5.5 データ整備状況まとめ	
6. コンクリート関連産業の調査－現状と動向の把握.....	(42)
6.1 調査目的	
6.2 調査概要	
6.3 調査対象	
6.4 ヒアリング調査結果	
6.5 調査のまとめと今後の課題	
7. まとめ	(49)
8. 謝辞.....	(51)

1. はじめに

日本の建築産業は、温暖化ガス排出量削減と廃棄物削減の両立という難しい課題を抱えている。既存の研究では、リサイクル技術の開発や省エネ設計などの個別要素技術、環境性能表示や骨材採取禁止といった社会施策の対策が提案されてきたものの、その建設業全体・社会全体への影響評価は行われていない。

我々の研究グループでは、建設需要や建築物の寿命とその地理分布、商習慣、政策やリサイクル技術の発達といった各種要因を統合的にモデル化した資源循環シミュレータ **EcoMA** を開発しているところである。このシミュレータ **EcoMA** は、各建設会社がある時点で稼働している複数の現場情報を入力して、その各現場の位置情報、材料投入特性と意思決定とに起因する環境負荷を評価できるという特徴がある。

本研究では、上述システムを GIS と連携させることで、建設企業の廃棄物管理に資するコンクリート系建設材料の廃棄物発生地の地理的分布とその輸送状況について GIS 上にデータ整備と可視化を行い、統計データを建設企業や自治体にとって利用しやすい形で形を整備すると共に、顧客や市民に視覚的に分かりやすく提示出来るようにすることを目的とする。

本研究は、最終的には以下のような意義あるシステムの構築を目標としている。

- a) 建設企業や公共投資を行う自治体が、処分場枯渇に対応した最適な材料選択戦略を決定し提示できる評価システムの構築
- b) 建設企業や自治体がコスト低減型リサイクルや温暖化ガス排出低減を目的として、最適な廃棄物回収輸送を実現できる評価システムが構築

そこで、本研究では、上記目的を達成するために以下の調査・開発を行う。

< 1. 統計情報の収集とその可視化 >

既存の公共統計、GIS データの収集を行い、過去の建築量・土木構造物量についてその用途と規模の地理的分布を経年的に把握する。

< 2. 経年情報を加味したコンクリート系廃棄物の発生量予測の地理分布 >

上述データと建築構造別寿命関数と GIS を連動させることにより、地理的分布を考慮した建設物解体発生量予測を行う。またこの GIS データベースを上述 **EcoMA** と連携させることによりコンクリート系廃棄物発生量を予測し、GIS を用いて可視化する。

< 3. 輸送状況の把握とその可視化 >

関東圏のコンクリート系材料の静脈物流に関連する企業として中間処理場に着目した協会への聞き取り調査と工場へのアンケート郵送調査を行い、廃棄物の発生場所と行き先を把握する。これにより資源の移動状況と建築物へのストック状況を把握し、その可視化を行う。

2. ecoMA の概要

2.1 ecoMA の特徴と必要性

建設分野においては、温暖化対策、廃棄物抑制、資源枯渇が二大問題である。他の産業で問題となるような化学物質による被害は重要ではないが、規模の大きさに起因する問題が顕在化している。地球レベルでの課題である温暖化対策と他の環境問題とは一般にトレードオフの関係にあるといわれる。地球温暖化への影響を最小限にしつつ経済的に可能な形で廃棄物削減・資源枯渇対策を行うことが求められているのである。従って環境評価に際してどの問題に対しても、特に以下の点が求められる。

- 予測や過去の建設投資履歴といった時間因子に関する情報:近い将来どの程度温暖化ガスの削減を求められるのか、コンクリートがら排出量は増加するのか、量的なバランスはどうなるのかといった時間的な情報が求められている
- 意思決定や経済状況といった社会因子に関する情報:建設業のような長期間にわたる対象を評価しようとするとき他者の経営判断によってコストや環境負荷が異なる。また政策決定自体によって環境負荷が変貌してしまう。どう評価に盛り込んで行けばよいのか、という手法的な解決策が求められている
- 輸送と立地といった地理因子に関する情報:産業廃棄物の広域輸送や高品質再生骨材の立地問題などは、建設資材の重量の大きさとあいまって建設分野における輸送と立地の評価の重要なものとしている。工場や処分場の地理的な配置、輸送手段の違いによる環境負荷の変動を評価することが求められている。

これらの時間因子・社会因子・地理因子は、既存の LCA 手法、環境評価ツールにおいて以下のように取り扱われている。古くは、既に 1991 年には Nordhaus らが時間的なダイナミクスを環境評価に取り込むことの重要性に言及している。しかしながら時間の経過による環境負荷の変動、価格の変動などは通常の LCA ツールでは取り扱われていない。また、建築に特化した手法においても、既存の LCA に準じた取り扱いが一般的である。経済的なモデルは地球温暖化を評価対象としたものがほとんどであり、建設関連で重要となる廃棄物や他産業廃棄物受入れなどについては取り扱われない。また、マクロ経済モデルを用いているため支配関数の導出に現時点では困難が指摘されることも多い。またマクロ経済モデルを用いているため各企業の意思決定に関連する評価は一般に行いにくい。輸送距離はほとんどの LCA 評価において固定値として取り扱われる。これはマテリアルフローの動的な変動を考慮しない LCA ツールの限界と指摘できる。すなわち、時間・社会・地理因子のいずれの観点からも、既存の環境評価フレームワークは不十分であることが指摘できる。

以上の議論を踏まえて

- マルチエージェントシステムを用いて社会因子のモデル化し、
 - グラフ理論を用いてサプライチェーンと時間因子のモデル化し、また
 - 立地と輸送を考慮する方法を述べて地理因子をモデル化
- を行い、新たな資源循環シミュレーションシステム(EcoMA)を既に開発したところである。本研

究助成では、上述の ecoMA と GIS の連携を図ることにより、特に「地理因子」について解析の精緻化と現実性の向上をはかろうとするものである。本項では、ecoMA について概要を紹介する。

2.2 社会因子のモデル化：マルチエージェントシステム

ecoMA では、企業や政府の意思決定の影響や、経済的な動向の直接的なモデル化手法としてマルチエージェントシステム (Multi-Agent-System 以下 MAS と略す) と呼ばれる手法を用いた。非常に端的に述べると、マルチエージェントシステムとは、エージェントと呼ばれる各意思決定主体の集合によって生成される系のことである。既往の研究において MAS は大別して以下の研究に用いられてきた。

- 複雑な現実社会における、コミュニケーション・協力・組織化など動向をモデル化し、情報や資源の動向をシミュレートするための手法。これは人工知能 (Artificial Intelligence 以下 AI と略す) 的なアプローチといえる。
- 分散的な問題解決のための手法 (Distributed Artificial Intelligence: 以下 DAI or 分散コンピューティング Distributed Computing 以下 DC と略す)

伝統的には、マルチエージェントシステムは、DAI 的な目的で用いられてきた。このような手法において MAS は、「各主体が個々の知識と能力の限界の範囲内で協力して解空間を探索する問題ソルバー」と定義されてきた。近年では、シミュレーション的な用法が増えているためより一般化した以下のような定義が用いられる。本研究においては MAS をシミュレーション的な側面から利用している。

- 各エージェントが問題解決のための限定的な能力を持っている
- 各エージェントは互いに影響を与え合う (interaction の存在)
- 系全体をグローバルに見渡す制御は存在しない
- データは統一的に管理されていない (decentralized)
- プログラムは非同期的に実行される

このようなルールにおける系 (システム) において、エージェントと呼ばれる意思決定主体は一般に以下の特徴を持つ。言い換えると以下の特徴を持つことによって複雑な社会システムの各側面を再現することにある程度の成果が挙げられてきた。

- 個性: それぞれの「信念」に基づいて行動をおこすことが出来る能力を持つ
- 適応性: 学習し、経験に基づいて改善してゆく能力を持つ
- 自律性: ゴールを志向して自ら行動をおこす能力を持つ
- 協調性: 共通のゴールへ向けて他のエージェントと共に行動する能力を持つ
- コミュニケーション性: 他のエージェントと情報を交換する能力を持つ
- 反応性: 選択的に情報を感じ取って行動する能力を持つ
- 時間的な継続性: 時間軸に対して自己の状態を保持してゆく能力を持つ

経営戦略や経済的な事情、政策的動向など社会的な要因を考慮しようとする場合、それらの動向を左右する、意思決定主体を見極めることが重要である。ecoMA においては、意思決定主体を工場を模擬した PL エージェント (即ち plant agent の略称)、輸送機関を模擬した TR エージェン

ト(即ち **transport agent** の略称)、政府や自治体を模擬した **GV エージェント**(即ち **governmental agent** の略称)の三つに分類してモデル化を行った。

ecoMA におけるエージェントも上記特徴を全て満たす。PL エージェント、TR エージェントにおいて「個性」とは「戦略」(後述)として定義され実装した。「適応性」は、「自分自身に関する情報」(後述)の更新に関する戦略(後述)として実装される。「協調性」は **GID**(後述)に基づく行動の変更として実装される。「コミュニケーション性」は「製品についての問合せ行動」「廃棄物の受入れ要請行動」として実装され、その返答として「反応性」が実装される。AI 的な手法におけるエージェントと DAI 的な手法におけるエージェントには、その「信念」(本研究における呼称による「戦略」)が異なる。DAI 的な手法においては系全体の設計目的にむけてエージェントが行動するが、AI 的な手法においては、各自の”人間的な”判断に基づいて合理的に行動する

表 1 一般的なMASの特徴と建設産業との対応関係

Characteristics	Explanation	Examples of corresponding behavior in the real world of construction industries
Adaptivity	Ability to learn and improve with experience.	price change of ready mixed concrete in accordance with the cost of aggregate procurement
Autonomy	Goal-directedness, proactive and self-starting behavior.	zero-emission and eco-conscious procurement in building construction management
Collaborative behavior	Ability to work with other agents to achieve a common goal	price cartel in ready-mixed concrete, bid-rigging on public construction projects.
Inferential capability	Ability to act on abstract task specifications.	capital investment on high quality recycled aggregate and eco-cement
communication ability:	Ability to communicate with other agents	price negotiation in the procurement process of building construction
Personality	Ability to manifest attributes of a "believable" human character.	Each companies of building materials have different corporation strategy.
Reactivity	Ability to selectively sense and act.	Answers differently to the price query in respect to the attributes of the agent who asks.
Temporal continuity	Persistence of identity and state over long periods of time	Each material plant has consistency over time for its stock, pricing strategy etc.

2.2.1 PL エージェント

PL エージェントは、材料の IN/OUT が存在する社会的な存在をモデル化したものである。例えば、ゼネコン、材料の生産工場、建物の解体業者、コンクリートがらの中間処理施設、最終処分場などがこれに分類される。例えばゼネコンは、建設現場において建築材料を搬入し(IN)、建築物を建設する(OUT)、さらにその建設過程では一般に廃棄物(OUT)や排出ガス(OUT)が存在する。従ってゼネコンは、所在の確定しないPL エージェントと呼べる。また、生コンクリート工場は、セメントや骨材を仕入れ(IN)、生コンクリートを生産(OUT)する。したがって PL エージェントと分類される。

EcoMA で用いられるコンクリート系材料分野の代表的な PL エージェントについて、以下に模式図を示す。、建設分野における資源循環は、他産業からの廃棄物受入れ割合が大きいという特徴がある。社会的な意味合いに着目すると、製品の製造と廃棄物の受入れは他者(他のエージェント)からの要請に起因する行動である。一方、原材料の仕入れ、製品の廃棄は自分自身の生産行動結果発生する事象である。そこで、PL エージェントの左側には、外部からの働きかけによる行動、右側には自ら働きかける行動を記述した。

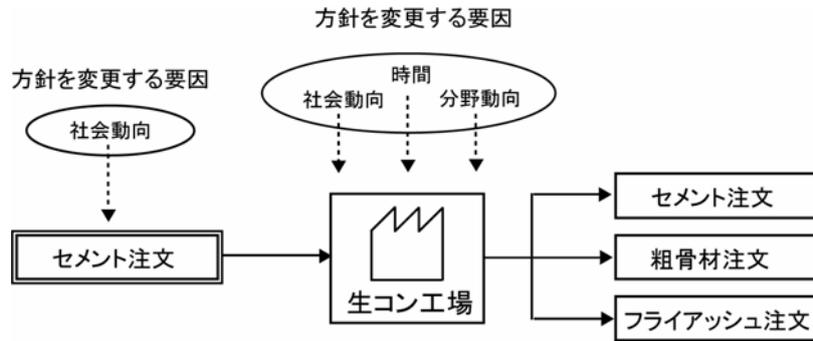


図 1 生コン工場 PL エージェントの模式図

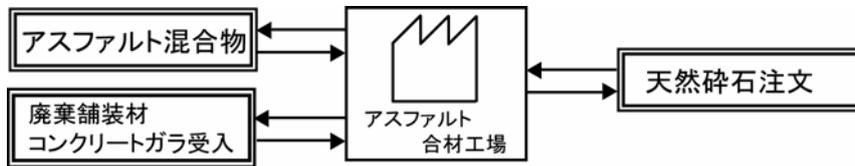
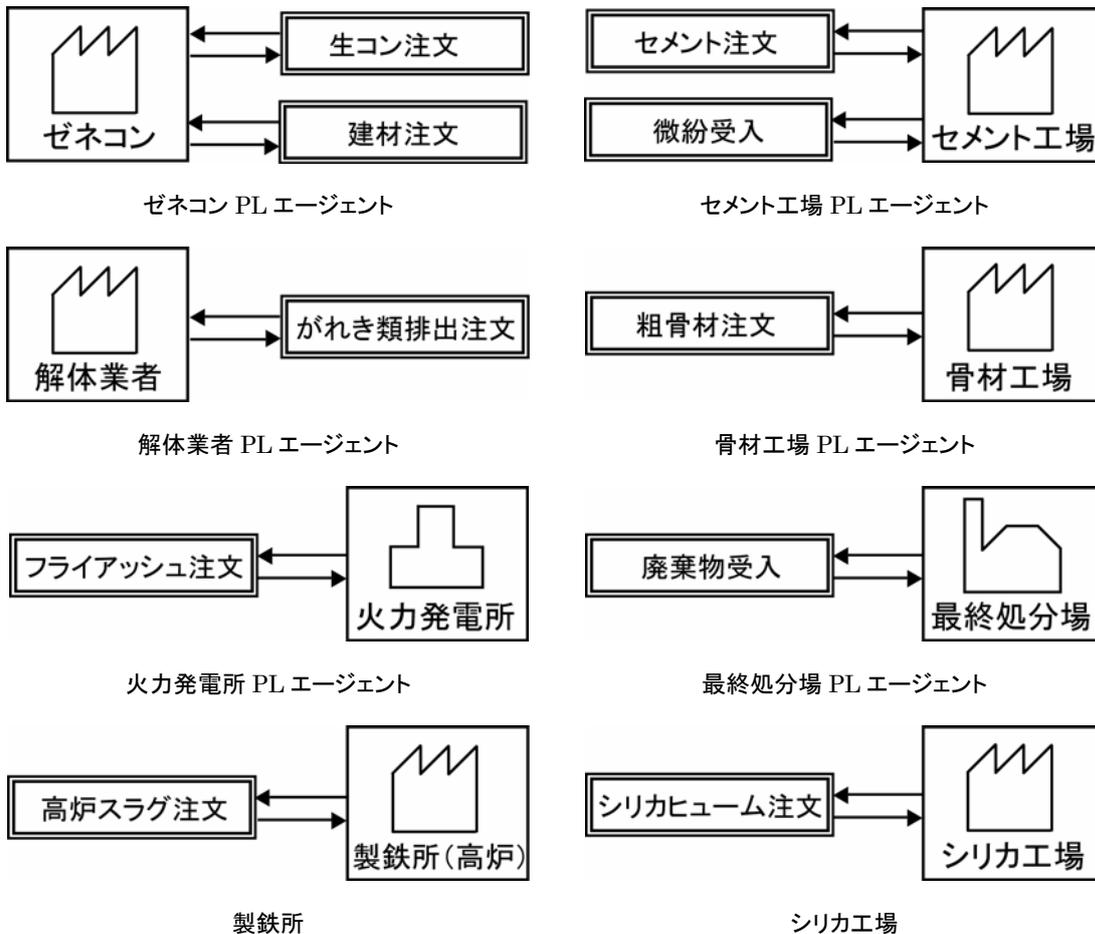


図 2 アスファルト合材工場 PL エージェントの模式図



2.2.2 TR エージェント

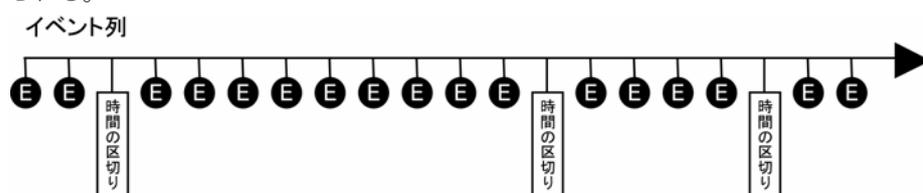
TR エージェントは、材料の位置的な移動を行う社会的存在をモデル化したものである。例えば、鉄道会社、トラック運送業者、海運業者などがこれに分類される。例えばトラック運送業者は、ゼネコンの注文を受けて、建材工場(from)から建設現場(to)まで材料を輸送する。その輸送過程では、トラックによるエネルギー消費(IN)とCO2 排出(OUT)が存在する。

2.2.3 GV エージェント

GV エージェントは、他のエージェントの振る舞いに影響を与えるエージェントである。例えば、自治体、政府、NGO、調査・研究・諮問機関などがこれに分類される。例えば、政府は、環境税や補助金を通じて、企業経営の方針を変更させようと働きかける。GV エージェントは現時点の実装では自分自身に関する情報をもたない。「イベント」(第 5 章参照)生成時にテンポラリに生成され、与条件として、「政策を通知する戦略 ID」を持つ。PL エージェント、TR エージェントは、各自の戦略に基づいてその戦略通知を解釈することになる。

2.3 時間因子のモデル化：イベント駆動モデル

EcoMA では時間因子のモデル化としてイベント駆動モデルを採用した。最も重視したのは、第二章で述べた政策や技術開発などの既存の PL エージェントへの外部因子のモデル化への影響である。イベント駆動モデルでは、どの時点から政策が開始されたのか解析上定義可能である。従って「政策施行前後の比較」といった取り扱いが可能となる。一方で時間駆動モデルにおいては各エージェントが非同期で行動している。従って「ある生コンクリート工場 P_i がセメント工場 P_j に発注をかけた時点」で政策が開始することになる可能性がある。ecoMA では、時間を離散的な「イベント」としてモデル化した。イベントとは、それを契機としてエージェントに何らかのアクションを与える社会的現象である。具体的には材料の需要と供給に関連したイベントとして、建築物の発生、建築物の廃棄、建物の改修、道路の新規造成、道路の廃棄、年度の開始・終了、政策の施行などが挙げられる。



● E イベント(エージェントの行動の契機となる現象)

図 3 イベント駆動モデルの模式図

2.3.1 イベント駆動の特徴

材料がある材料を原材料とする時、その原材料は任意ではなく固定されている。例えば生コン工場が原材料として三つの材料(セメント+粗骨材+砂)を必要だとしよう。そうすると路盤材工場には注文しない。即ち※でいう注文をかける対象である原材料「分野」は生産する材料によって固定されている。セメント工場が生コンを注文したりはしない。(セメントが廃棄コンクリート起因の微粉を受け入れるのは生コンではなく微粉を受け入れているのである)このような注文側、注文を受ける側が可換でない点がマテリアルフローの制約となる。即ちマテリアルフローはグラフ理論で言うところ

ろの木構造、輪(self loop)や平行辺(parall edge)は存在しない。この制約は「建築物の注文」「建築物の廃棄」「道路の更新」「路盤の廃棄」といったイベントごとの制約である。このようなフローの一方方向性に関する制約はのようにまとめられる。ある特定のフローに着目すると、フローは木構造に階層化される。

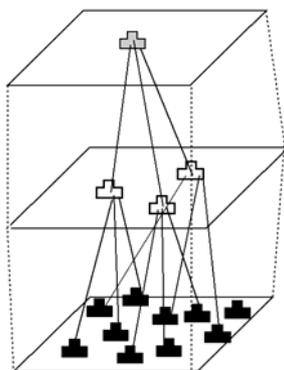


図 4 木構造にモデル化されたマテリアルフローの模式図

建設産業では、他産業からの廃棄物受入れ、高品質再生骨材といった廃棄物再利用がマテリアルフローとして重要な要素を占める。リサイクルやリユースといったマテリアルフローを概念として論じる場合、産業内リサイクルを指して「クローズドループ」と言ったキーワードでリサイクルを言い表すことがある。この「ループ」の概念は、廃棄した後に、同じ製品に戻ってくることを言い表し、「限りある資源の有効活用」をうまく表したものである。しかしながら、現実社会におけるマテリアルフローをモデル化するには、上述のような tree 構造によるモデル化が適切である。なぜなら

- 他産業からの廃棄物受入れによる再利用は、経済的メリットと製品需要があって初めて実現する。「ループ」(グラフ理論の閉路)を含んだモデル化では、需要に関係なくリサイクルされることになり、経済・社会的な実現性を検討できない
- tree 構造は、数値解析手法の上で大きなメリットがある。例えば、属性数え上げ、経路探索、フロー最適化といったアルゴリズムが数多く提案されている。

2.4 従来の ecoMA における地理因子のモデル化：GIS 統合の前段階について

2.4.1 解析対象地域：空間の分割

ecoMA では今までのところ、対象空間を 1km 四方グリッド分割したセルの集合とみなしてモデル化している。この 1km 四方グリッドは、基準地域メッシュを参考にしたものであり、既存の標準規格との対応関係を明確にすることで、種類の統計調査の導入が容易となる。また、解析結果を現実の統計情報と対応付けることが容易になる。なお「対象地域」とは、イベントの発生対象地域を意味する。判断の主体であるところの工場位置のプログラム上の制約を意味しない。例えば、最終処分場や一部のセメント工場、砕石工場は本研究で対象とする関東 100km 圏外に存在しているにも関わらず関東圏から多くを受注している。このような工場も他の工場と同様にプログラムコード上に表現され事実上位置は任意である。このような入力工場に関する制約を設けないことはより現実的なモデルを構築する点で重要であったので特に実装時に留意した。本研究における既往の検討

例は、常に関東圏約100km四方を対象とした。これは入手データ上の制約でありモデルの制約ではない。

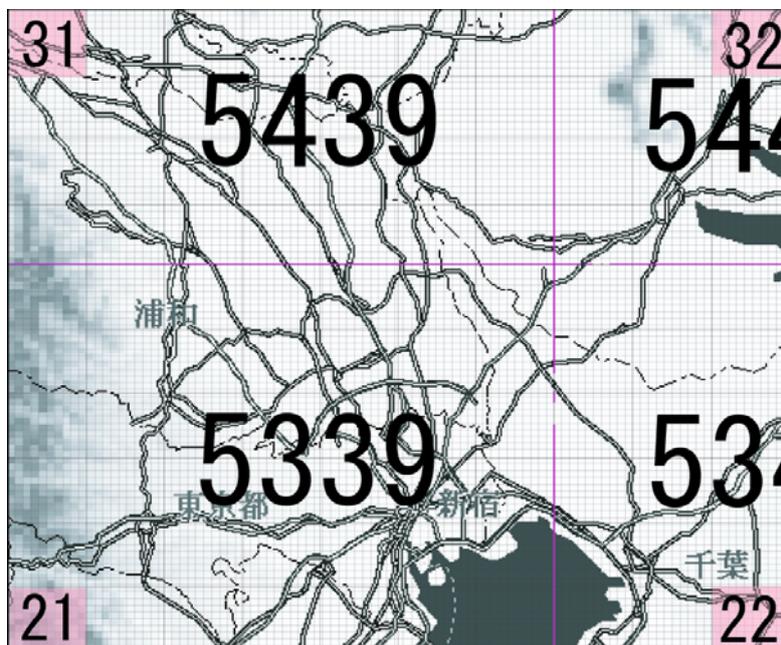


図 5 ecoMA の解析対象地域の例

((左上隅、左右下隅の順に、5439-31, 5440-32, 5339-21, 5340-22))

2.4.2 距離：輸送

距離の算出は、道路経路距離と直線距離との相関を基に求められる。直線距離と道路距離の相関を検討した研究例として、理論面では Davidson の研究例がある。また実証面では、伊理ら、腰塚らがある。道路距離 D_{road} 、直線距離 D_{linear} と表すと、国道のみで $Rd = 1.25$ 、主要地方道まで考慮すると $Rd = 1.15$ 、国道、主要地方道、県道まで考慮すると $Rd = 1.14$ であったとしている。また、中村ら[4]はゼンリンの経路探索と直線距離との相関から $Rd = 1.5$ であったとしている。EcoMA では、建設系の大型車の移動を主要な対象として考慮し、 $Rd = 1.25$ を採用した。

$$D_{road} = Rd \cdot D_{linear}$$

基準地域メッシュは正確には 1km 四方ではなく多少横に長い。システムの実装上正方形グリッドとして内部的にマッピングを行うため、直線距離算出に倍率計算が必要となる。

2.4.3 分割した空間への配置：建設・解体需要と統計の対応関係

建築統計は都道府県レベルまでしか区分されていない。従って街区レベルでの建物建設投資の地理的偏在をモデル化するのは直接的には不可能である。道路建設投資についても同様に、道路統計は都道府県レベルでの整備である。しかしながら、都道府県レベルでの建設投資偏在モデル化にはいくつかの弊害がある。

- 三多摩地区のような都市圏に近接する人工減少地域を過大に投資評価してしまう

- 埼玉や千葉地域など片方の側面が大都市によっている都道府県では、大都市近接地域の投資を過小評価してしまう

以上の問題点を解決するために、以下のようなイベント生成汎用モデルを定義した。

ここで、全ての対象地域のセルに対して、 c_index を割り当てたとする。そのセルに対する発生度重み付け値を $ew(c_index)$ と表すとする。このとき、 $[0,1)$ の乱数 $rand()$ に対して、

$$\frac{ew(c_index - 1)}{\sum_{i \leq c_index - 1} ew(i)} \leq rand() \leq \frac{ew(c_index)}{\sum_{i \leq c_index} ew(i)}$$

となるような c_index を選んでイベントを生成すればよい。このようなモデルであれば、“重み値が正しく入力される限り”上記の問題は解決される。すなわち「モデル上は」解決される。しかしながら、建築統計は都道府県レベルまでしか区分されていないため、素直に実装すれば同様の問題が起きる。

現在までのところ、ecoMAでは建設需要の地理的な重み付けをより現実に近づけるために、名知らのモデルを採用している。名知らは、建設副産物発生地の地理的分布を実情を反映したものにするために、除却統計の値に、100mメッシュで人口と用途地域により重み付けを行った。本研究では約1kmメッシュであるので現状では用途地域は考慮せず、人口による重み付けを行うことにした。また解体に際しては、除却統計の量的な信頼性が低いとの指摘[8]を重視して、着工統計と寿命関数より生成した。ここで、あるメッシュ i の建築延べ床面積を $Area_i$ 、そのメッシュ i の属する都道府県を pr 、市町村を ci と $index$ 表記する。また、人口を $Population$ 着工統計による pr の着工面積を $Stat_{pr}$ 、 ci の総メッシュ数 $Mesh_{ci}$ と表記することにする

$$Area_i = Stat_{pr} \frac{Population_{ci}}{Population_{pr}} \frac{1}{Mesh_{ci}}$$

2.4.4 実装に関するコメント

地理的分布のあるイベントにおいてその呼び出し順序に関する解析上の問題点とその解決法を示す。数値計算でよくあるように空間を北から順になめていって建築を発生させるやり方には問題がある。なぜなら各工場には生産量制限があり、それらの工場は北の需要に優先的に資源を配分しているわけではないからである。このような実装による偏りを避けるために本システムでは需要点をランダムに且つ任意の回数に分割して発生するようにしてある。

2.4.5 イベントの解析的な記録

環境評価の目的によっては実行後にどれだけ建築が残存していてどのような建築なのか、という記録が必要となる。例えば、「建築を長寿命化した」というシナリオにおいては建築の種別ごとの残存率と残寿命が重要な指標となる。従って、以下の要件を満たす必要がある。

- 建築の種別が(プログラム上の)解体時まで判別可能であること

- 建築の余寿命がいつでも判別可能であること
- 社会的な情勢によって建築が延命を図られることもあると考えると、建築の余寿命は変更可能であること

が挙げられる。このことから実装においては建設時に寿命分布を予め発生させ、余寿命を建築ごとに決定するという方法をとることにした。その上で、空間上への記録はのように行った。

表 2 イベント生成・管理アルゴリズムの適用例

実装名称	説明
平均的ランダム	最も基礎的なモデル。マクロで空間分布の影響が少ない現象のモデル化には問題ない。また地理的偏在の影響を検討する際の比較対象モデルとして利用できる。分布に統計的な根拠はない。
傾斜面関数・他	空間的に異質性のあるモデルとして最も基礎的。コンパクトシティなど仮想的なモデル化に適する。統計的根拠は希薄であり、現実的な予測モデルには向かない。
カーネル法	分布関数により年の建築物密度をモデル化する。都市工学分野に研究例[5, 6]があり、上記二つのモデルより統計的根拠が明確。
CA 発生	エージェントモデルと拠所を同じくする複雑系分野に研究例あり。統計的根拠は希薄だが、分布形状の再現には評価がある。分布の定性的な発生率が問題となる場合に向いていると思われる。
GIS	最終的なモデルとしては GIS による現実データの入力を選択肢に挙げられる。現時点では全く実装がなく、対応する GIS データも不足しているように思われる。

余寿命	1 year	2	3	4	5	...	30	31	...
高層ビル	0	0	0	0	0	...	0	1	...
店舗・事務所	1	3	4	5	8	...	35	21	...
住宅	3	0	1	2	6	...	11	12	...



図 6 イベントの記録模式図

2.4.6 輸送コスト

ecoMA では、エージェントの戦略によっては価格の設定が必要となる。そこで、工業分野での輸送形態をコストの側面から検討した。一般的に、聞き取り調査に基づく輸送単価は第7回全国貨物純流動調査[9]結果 によって得られる。ただし、輸送形態によって価格体系が異なってしまうにもかかわらず、距離算定は都道府県間(47×47)、輸送品目別(農水産品、鉱産品、金属機器など)、輸送機材の種類(トラック、自家用トラック、鉄道コンテナ、フェリー、航空など)という書式で記述されているため、料金体系(時間制・距離制)のデータ掲載されていないため、多様化した輸送形態ごとの料金について知る事が難しい。輸送に関するコストのデータは、物流業界の料金体系の不透明さもあいまって、各社ともあまり情報公開という立場を取らない。また、平成2年12月より貨物自動車運送事業法(トラック法)が施行され、新規参入・運賃料金規制の自由度を高める規制緩和を行ってからは、各社多種多様なサービスにしのぎを削っており、料金体系もサービス形態によって多様化してきている。このトラック法によると、輸送に関する料金体系はサービス商品と認識されており、商品の届け出の際に、大別して以下の4つに分類される。

表 3 輸送形態と運賃

輸送形態	輸送内容	運賃の種類
積合せ輸送	特別積合せ貨物運送を含む積合せ貨物運送(宅配便輸送を除く)	積合せ運賃
宅配便輸送	特別積合せ貨物運送又はこれに準ずる貨物の運送であって、重量30kg以下の一口一個の貨物を特別な名称を付して行う運送	宅配便運賃
貸切り輸送	車両を貸し切って行う貨物の運送(引越し、特殊輸送を除く)	貸切運賃
引越し輸送	車両を貸し切って行う引越し貨物の運送	引越運賃
特殊輸送	特殊な構造を有する車両を使用して行う運送、その他の特殊貨物の運送	特殊運賃

また、貸切運賃の料金体系は主に以下の二つの形態がある。

- 時間制運賃: 配送地域などがある程度限定されている場合などに、トラックの使用期間、時間に応じて運賃を契約するシステム。
- 距離制運賃: 輸送距離に応じたトン車ごと(最大積載量で運賃形態が異なる)の運賃を契約するシステム

建設業界においては、アジテータ車など特殊車両を会社で保有し、生産+輸送一括受注が一般的である。また、聞き取り調査によると建設資材などにおいても、貸しきり運賃または材料費として輸送込みの価格を提示するのが一般的である。このような商習慣は以下のように実装される。

- 輸送込みの材料費モデル: TR エージェントは0円を提示する。但し PL エージェントと GID

を同一にすることに拠り、PL-TR エージェントは 1 つの企業体とみなす。発注者は同一 GID にしか発注できないという制限がかかる。一方で材料の注文を受けた生産工場エージェントは輸送費込みの価格を提示する。

- 貸切距離制運賃モデル:TR エージェントは輸送距離に応じた段階型の料金を提示する。

貸切運賃時間制モデル:日単位の輸送可能距離を調査した上で、貸切距離制運賃モデルと同一のモデル化を行う。現時点では時間制運賃を導入している材料は実装されていない。

2.5 まとめ

現状の ecoMA では、社会・地理・時間因子について基礎的な枠組みが構築されているものの、特に地理因子については、現実的な値を入力するのが難しい。そこで、本研究助成では

- GISを用いた道路距離データベースの整備およびその可視化
- GISデータから得られる既存の建物地理分布を基にした、解体需要予測およびその可視化に取り組んだものである。

3. ecoMA における GIS の実装の現状

前項で述べたように、ecoMA は環境評価における地理的な側面のみならず、政策や経営戦略、経済情勢などの社会因子、資源の枯渇や価値観の変化といった時間側面までも含めた資源循環の評価システムを目指すものである。本研究助成では、この ecoMA に GIS を連携させることにより、より精緻な「輸送道路距離の算出と可視化」「建設需要の地理的な分布の評価」およびその可視化を目指した。本研究助成では、これらの解析の精緻化を目標としているが、その前段階として、現状の進捗と課題を明らかにする必要がある。そこで本項では、ecoMA とGIS連携についての実装の現状と、評価結果例を示す。また、現状で完成された範囲について示すために、適宜、トータル版 ecoMA のマニュアルを引用する。

3.1 輸送距離の算出：GUI 版 ecoMA の概要

3.1.1 GUI 版 ecoMA の概要

現状の ecoMA では以下の手順で解析対象となる工場の位置が設定可能である。なお、次項に述べるように、ecoMA の関連プロジェクトでは、コンクリート関連産業の工場の全数調査を行っており、現在までに関東全域、北海道全域の工場について緯度・経度データを整備したところである。この調査データをもとに、今後 ecoMA の工場位置データベースが整備されることが予定されており、本研究助成によって可能となる「道路距離算出法」によって有効に利用されることとなる。

以下に、GUI 版 ecoMA における設定画面を示す。

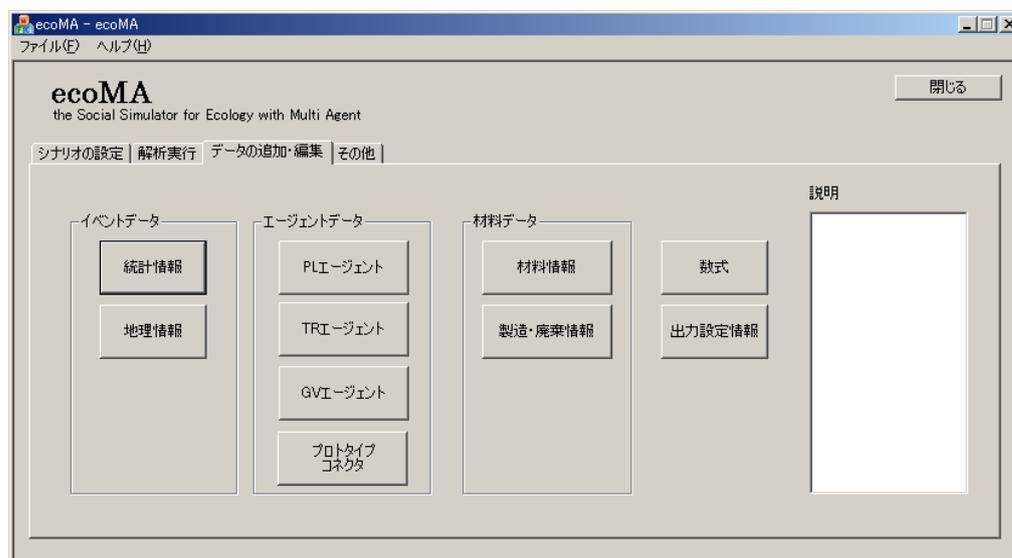


図 7 ecoMA の起動画面。PL,TR,GV エージェントのデータ編集画面を起動できる。また、建設・解体などのイベント情報、材料の特性データベースなどの画面も起動可能である

ユーザーマニュアル		ページ	5
I	システム概要	作成日	2007年2月7日

【システムデータフロー図】

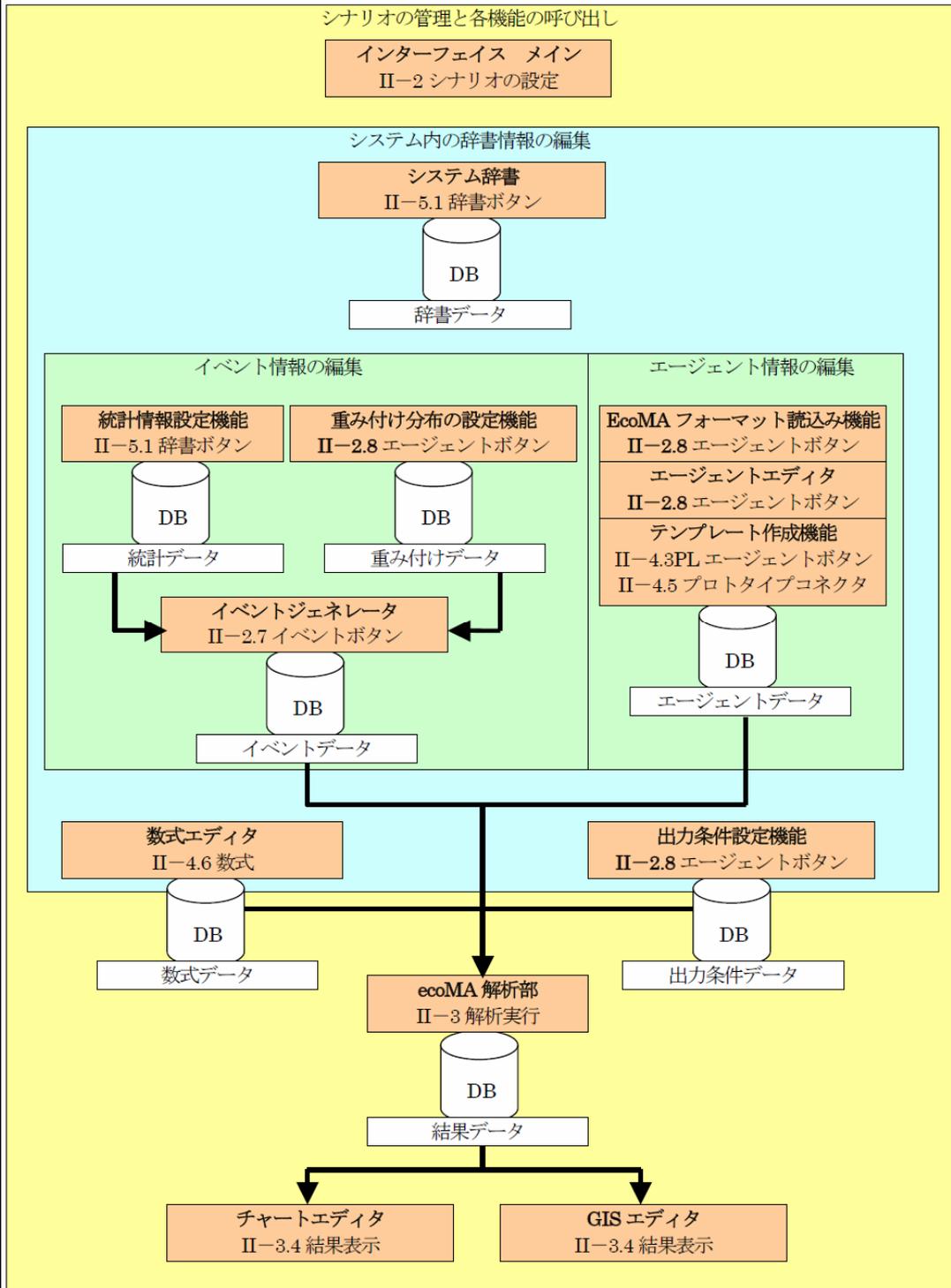




図 8 PLデータの編集画面の一部。
 地域メッシュを解析対象の 100*100 グリッドに射影した(x,y)座標で
 工場位置を指定することができる



図 9 geoplats GIS を ecoMA 内部から起動することが出来る

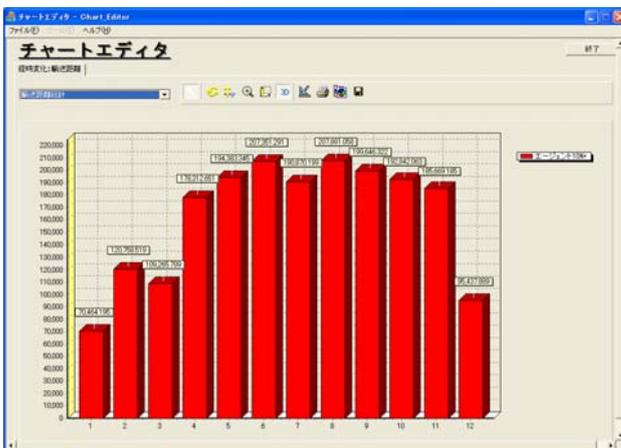


図 10 輸送距離の時系列変化を結果として出力した例
 (北海道における生コン産業における輸送戦略評価の例)

3.2 建設・解体需要の地理的な分布の設定

現状の ecoMA では、以下に示す設定画面において設定できる。入力データについては次項にまとめたが、現状ではおおむね行政による調査データに依存している。建物の分布については CSIS との共同研究によって利用可能となるGISデータの利用を検討しているところである。

メッシュコードの入力

イベントを発生させる地域の始点を入力します。
シミュレーションを行う領域の最も南西に位置する3次地域区画レベルの地域メッシュコードを入力して下さい。

例) 5339-35-67
5339: 第1次地域区画を示す数字
35: 第2次地域区画を示す数字
67: 第3次地域区画を示す数字
ハイフンを省略して 53393567 と入力して下さい

63414249

イベントを発生させる地域メッシュ領域を入力します。

北へ 100 メッシュ分
東へ 100 メッシュ分

キャンセル 更新

図 11 建設・解体の統計量は、標準地域メッシュとの対応をとって入力される

統計情報の選択

閉じる

既存データの編集

統計1

名称変更 削除 編集開始

新規データの作成

(新規名称を入力して下さい)

新規作成

図 12 建物種別ごとに統計データを編集・設定可能である



図 13 建設の時系列データは、着工統計などの統計情報を元に入力され生成される



図 14 解体の時系列データは、建設データと寿命関数から生成される。

重み付け分布 - WeightedMapEditor

ファイル(F) 統計情報の選択 バージョン情報(V)...

重み付け分布 閉じる

保存

名称: 地域1 行削除

seq	位置X	位置Y	重み値
1	1	1	42.0
2	1	2	18467.0
3	1	3	6334.0
4	1	4	26500.0
5	1	5	19169.0
6	1	6	15724.0
7	1	7	11478.0
8	1	8	29358.0
9	1	9	26962.0
10	1	10	24464.0
11	1	11	5705.0
12	1	12	28145.0
13	1	13	23281.0
14	1	14	16827.0
15	1	15	9961.0
16	1	16	491.0
17	1	17	2995.0
18	1	18	11942.0
19	1	19	4827.0
20	1	20	5436.0

図 15 建設量の地理的な分布は重み付け値で入力される

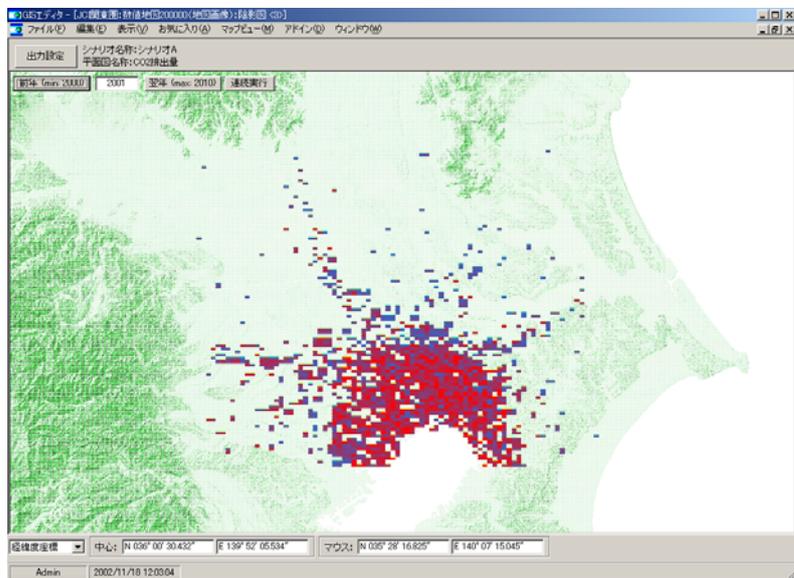


図 16 geoplats GIS を起動して、建築物の建設イベントを表示した例

3.3 現状の問題点

地理因子の入力・解析・出力の各段階における問題点は以下のとおりである。

- (1) 前項に述べたように、距離計算を直線距離からの推定値に頼っている
- (2) 工場の位置を、標準地域メッシュの中心点に換算してしまっている
- (3) 建設需要の地理的な重み付け分布を、人口重み付けからの推定に頼っている
- (4) 土木構造物の過去の建設地理分布の統計が整備されていない

次項では、(1)を解決するために、arcGIS の道路距離を算出方法を検討する。(2)については ecoMA の解析エンジンの問題であり容易に修正可能であるので本研究助成の対象ではない。(3)(4)については、データの入手の問題であるので次次項で議論する。

4. ArcGIS を利用した道路距離の計算と ecoMA との連携

従来 ecoMA で利用していた直線距離からの推定による輸送距離推定に代わる手段として、arcGIS を用いた道路距離の算出を試みた。具体的には、以下について検討した。

- ArcGIS を利用した手動道路距離の算出方法
- ArcGIS を利用した半自動型の道路距離算出方法
- CSIS 共同研究の枠組みの中で、新たに利用可能となった GIS データの中身の検討

本項では、各内容について、検討結果と解決された内容、今後の課題を述べる。

4.1 ArcGIS 9.2 を用いた、手動による道路距離計算の方法

4.1.1 作業の手順

4.1.1.1 手順①

スタートメニューから ArcGIS の<ArcMAP>を開く。[新しいマップを開く]→OK
ツールバー>エクステンション →すべてにチェックをつける

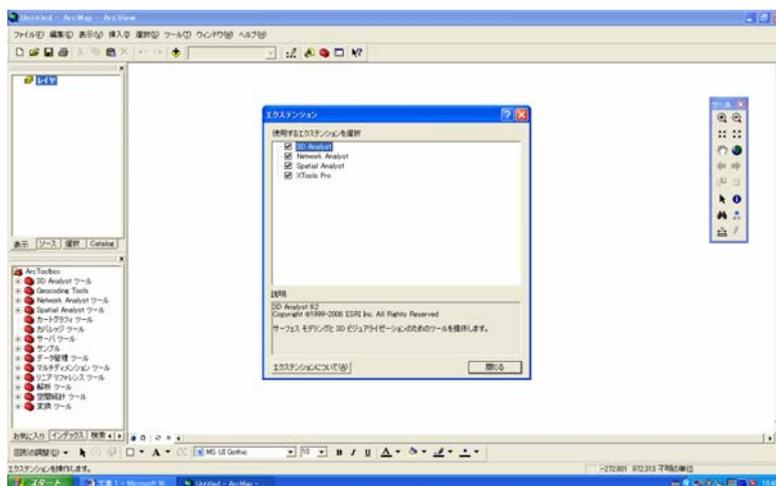


図 17 手順①のスクリーンショット

4.1.1.2 手順②

<ArcCatalog>を起動する → データオブジェクトを<ArcMAP>左側のレイヤ欄にドラッグ &ドロップする。

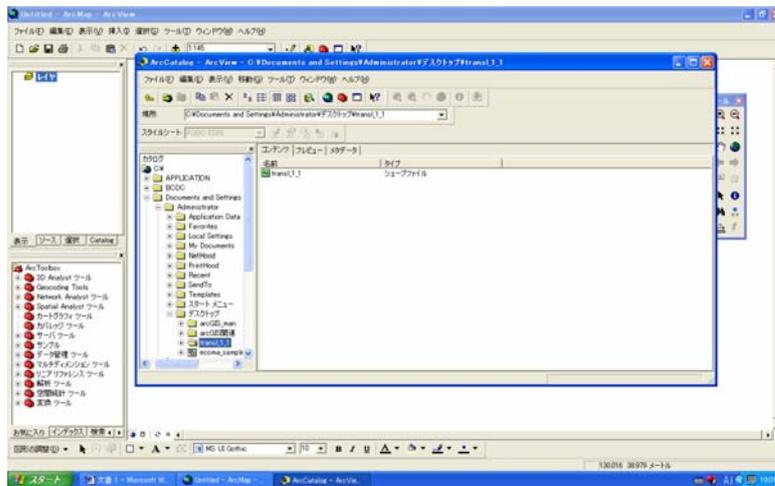


図 18 手順②のスクリーンショット

4.1.1.3 手順③

< Arc Toolbox >を開いて、データ管理ツール>投影変換と座標変換>投影法の定義
 →[入力データセット]に、レイヤ上ドラッグしたものと同じものを選択
 →[座標系]>選択>カタログ>座標系>日本周辺座標系>投影座標系>UTM 座標系>
 JGD2000>JGD 2000 UTM 第 54 帯 N.prj を追加

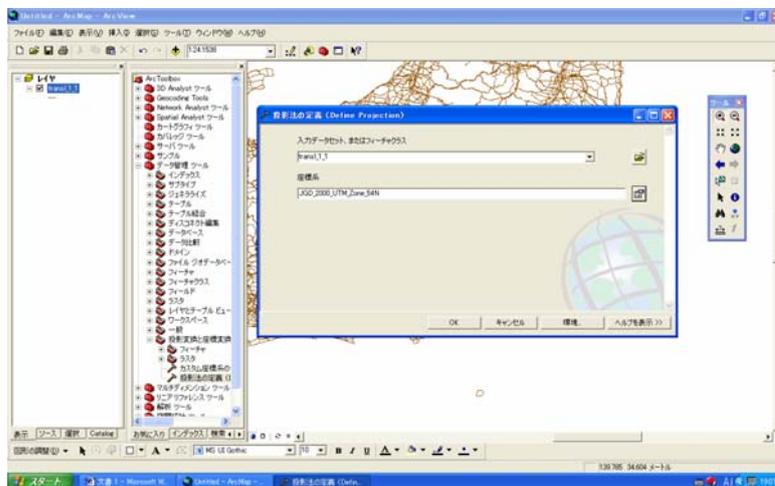


図 19 手順③のスクリーンショット

4.1.1.4 手順④

< ArcMAP >の表示>ツールバー>XToolsPro>Table Operation>Calculate Area,
 Perimeter～ をクリック

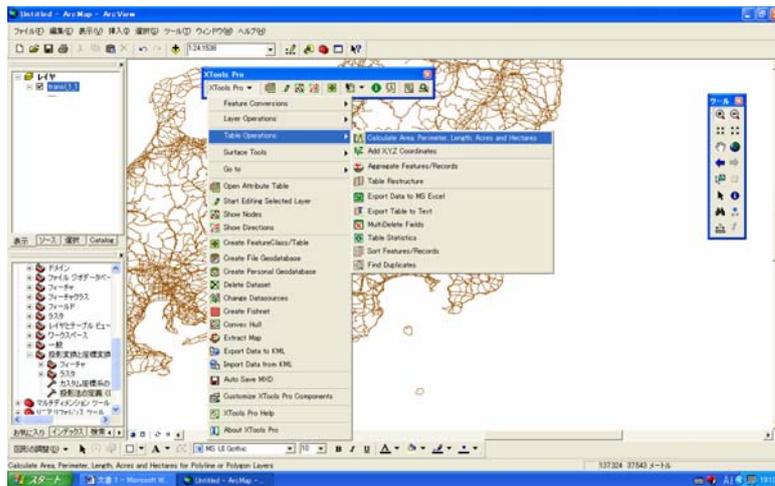


図 20 手順④のスクリーンショット

4.1.1.5 手順⑤

Specify ボタンをクリック>選択>カタログ>座標系>日本周辺座標系>投影座標系>UTM
座標系>JGD2000>JGD 2000 UTM 第 54 帯 N.prj を追加

<ArcMAP>画面左側のレイヤ欄にある[レイヤ]を右クリック>プロパティ

→座標系のページを選択>座標系選択の[カスタム]>JGD_2000_UTM_Zone_54N

→一般のページを選択>表示欄を[メートル]にする

<ArcMAP>画面右側のツールバー内の[フィーチャ選択]を選び、マップ上の知りたい道路を
選択(複数選ぶ場合は Shift キーを押しながら選択)

<ArcMAP>画面左側のレイヤ欄にあるデータオブジェクト名を右クリック>属性テーブル

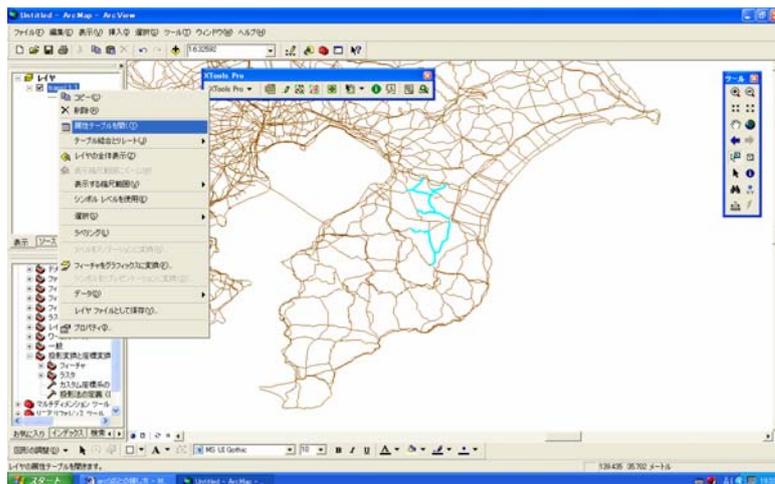


図 21 手順⑤のスクリーンショット

4.1.1.6 手順⑥

新しくウィンドウが開いたら、下のほうにある[選択]ボタンをクリックすると、選択した部分だけの属性テーブルが表示され、一番右の Length 欄に道路距離が表示される。

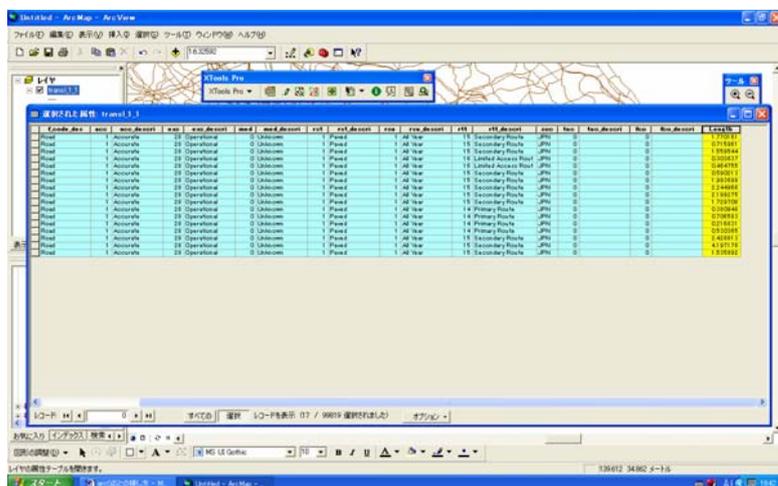


図 22 手順⑥のスクリーンショット

4.1.1.7 注意事項

- 作業をするときは、フォルダ名に日本語などが入らないようにすること。(arcGIS はアメリカ製なので、日本語に弱いから)
- フォルダなどを開くときには、ファイル>開く ではなく、ファイル>データの追加 で開くこと。イメージとしてはレイヤを重ねる感じ
- UTM 座標系を選んだ理由は、「距離の誤差は 0.9996 程度」であり、これは ecoMA の要求性能に合致する。欠点としては境界線上でルートが一致しないので調整が必要。

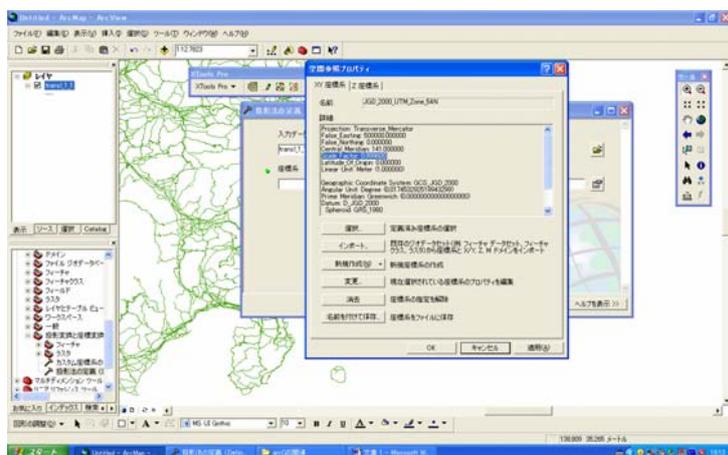


図 23 精度

4.1.1.8 データフレームとは

- データフレームはデータの集合体。
- レイヤ>プロパティで設定することができる。
- 一番最初に読み込んだレイヤの座標系が一般的には最終的な座標系として適用される。ただし、今回は、座標系の設定は XTOOLS の側のプロパティで設定しないと適用されないようだ。

4.1.1.9 Xtools とは

XTools Pro のインストールは下記のホームページから行う。

<http://www.xtoolspro.com/download.html>



4.1.1.10 サンプルデータについて

事前に以下のホームページで道路地図をダウンロードしておく。インターネットで「みんなの地球地図プロジェクト」ホームページを検索。

- 『地球地図日本(簡易版)』をダウンロード
- 「Shape 形式」でダウンロード
- バージョン 1.1 の交通網(線)を選ぶ。

4.1.2 問題点

本項で述べた手動による道路距離計算には以下の問題点がある。これらを解決するために、自動での道路距離計算が必要となる。

- 実際の解析で利用する工場数が多いために、手動計算では対応できない
- ecoMA への計算結果の出力機能が必要となる

4.2 ArcGIS 9.2 を用いた、半自動による道路距離計算の方法

前項で述べた手動による道路距離計算は、形式的には直線距離からの推定に頼らなければならない、という解析的な弱点を解決するが、効率の面で問題があった。そこで、手動計算を自動化する手法について検討した。

4.2.1 半自動的な方法

自動化には、arcGIS activeX を外部から呼び出す、マクロを記述するなどの方法が考えられるが、作業員として想定される学生(卒業論文程度の学部生)でも簡易に使えることを考慮して、「Modelbuilder」による処理を行うこととした。参考資料を示す(<http://www.nextpb.com/gisnext>)

プロフェッショナルのための ArcGIS講座

第6回 データ処理をモデル化する

名和裕司 (ESRIジャパン株式会社)

今回はArcGIS9.2から機能が飛躍的に向上したModelBuilderがテーマです。これまで多くのリクエストをいただいていた「バッチ処理」、「反復処理」、「対話型データ入力」が可能となりました。これらの新機能をご紹介します。

モデルの基本

ModelBuilderとはデータ処理をモデル図として定義し実行できる機能です。



図1 モデルの基本構造

図1のように楕円で表現される「変数」と、四角で表現される「処理」を矢印で連結して処理モデルを定義します。青い楕円は入力データ、緑の楕円は出力データを示します。処理の部分はArcToolboxに含まれるツールを利用します。ArcViewでは約200個のツールを利用できます。

図2は、5つの処理が含まれる複雑なモデルですが、図1で示した基本構造の連鎖であることがわかんと思います。※ツール名はデフォルト名から一部変更しています。

バッチ処理

バッチ処理とは複数のデータに対して、同一のデータ処理を実行することです。図3は複数の施設データに対するバッチ処理モデルです。「施設」と「バッファ.shp」変数が3重の表示となっていますが「複数のデータ」を意味します。変数を右クリックし、「プロ

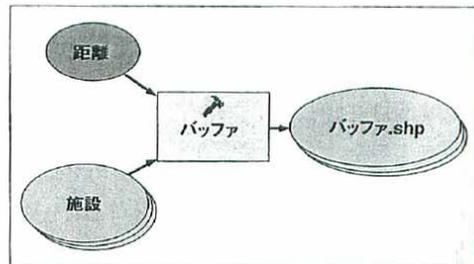


図3 バッチ処理モデル (値のリスト)

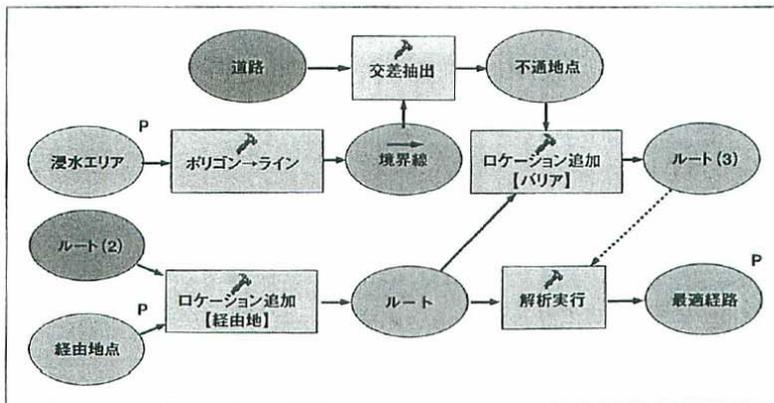


図2 浸水による不通を考慮した経路検索モデル (Network Analystを利用)

パティ)、[一般タブ]を選択し、「値のリスト」オプションを選択するとこの表示に切り替わります。

次に、「施設」変数をダブルクリックすると図4のようなダイアログが表示されます。+ボタンをクリックすると行が追加されます。追加された行をダブルクリックするとデータを

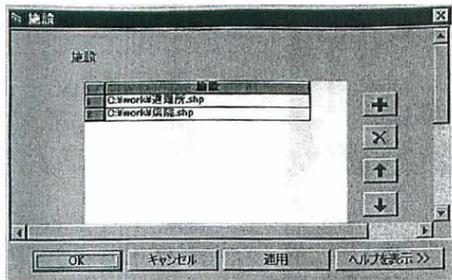


図4 値のリストの定義

指定できます。出力データも手順は同様です。モデル実行ボタンをクリックするとバッチ処理が実行されます。

⑤ 反復処理

反復処理では、まず反復処理回数を指定します。ModelBuilderの[モデル]、[モデルプロパティ]メニューを選び、[反復処理]タブ内の[モデルを下記の回数実行する]の下にあるテキストボックスに反復計算回数を入力します。次に、反復のたびに差し換えるデータを定義します。手順は先述の「値のリスト」と同様ですが、最後に「一連の値」オプションを選択します。図5では「距離」変数を「一連の値」として定義し、500m、1000m、1500mを設定してあります。ここで反復計算回数を3に設定すれば、距離の値を差し換えて3回計算が実行されます。反復回数を2とすると、

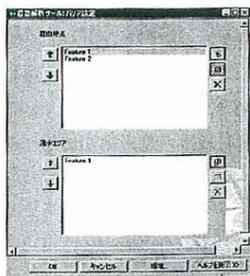


図5 反復計算処理モデル (一連の値)

1500mのケースは計算されません。ただし、このまま実行すると出力ファイル名が同じであるため、1回目は2回目の、2回目は3回目の出力結果で上書きされてしまいます。これを避けるにはインライン変数 (%n%) を使用します。出力ファイル名を C:\work\避難所バッファ%n%.shp とすると、n は0から開始され反復計算の度に+1され、ファイル名重複によるデータの削除は回避できます。

⑥ 対話型データ入力

図2に戻ります。「経路地点」、「浸水エリア」変数

は、「フィーチャ セット」として定義されています。「フィーチャ セット」とは、モデル実行時に画面上で入力して追加するデータのセットを意味します。図6はツールの実行時のイメージです。画面上で経路地点(ポイント)と浸水エリア(ポリゴン)をマウスで入力しています。これらの図形を入力データとして経路探索が行われます。シェープファイル等の固定的なデータではなく、画面上で様々なケースを試したい場合に有効です。変数を「フィーチャ セット」に変更するには、変数を右クリック、[プロパティ]、[データタイプ]タブ、データタイプの選択で「フィーチャ セット」を選択します。モデルを実行するときは、ArcToolboxに登録されているモデルを右クリック、[開く]を選択します。図6のようなツールが自動生成され、対話型データ入力が可能になります。モデルからの実行では対話型入力のモードになりませんので注意が必要です。

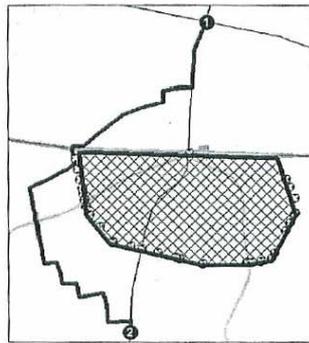


図6 経路地点、浸水エリアをマウス入力した経路探索結果

⑦ さいごに

ESRIはGISの5要素として、データ、データモデル、処理モデル、マップ、メタデータをあげています。今回ご紹介した処理モデルもその1つであり、今後も機能強化が見込まれます。定型処理の自動化、シミュレーションモデルによる戦略検討、フロー図によるGIS解析手法の共有などさまざまな応用が考えられます。データからの情報抽出、業務効率化、コミュニケーションの改善など、今後、ModelBuilderは強力な助手になってくれそうです。

【プロフィール】
 名和 裕司 (なわ ゆうじ)
 1995年、朝日バスコに入社しGISソフトウェアのサポートを担当。
 2003年、ESRIジャパン㈱に入社。現在GIS導入における技術支援を担当。
 GISの価値を自分で確認、理解し、自分の言葉で説明することを心がけている。
 yuji_nawa@esri.com

ArcGIS 講座

4.2.2 まとめ

上記の方法を利用すれば、以下の特徴を備えた道路距離データベースを ecoMA に利用可能な形で整備できることが判明した。

- 現実に即した道路距離であること
- 道路幅や一方通行など実際の道路における制約を考慮した経路となっていること
- 日本の任意の2地点について、ecoMA で要求される距離精度を持った結果となること

次項では、実際に利用するGISデータの選定について述べる。

4.3 GIS データの選定

4.3.1 はじめに

本研究助成と並行する形で、東京大学学内で共同研究契約(無料)を結ぶことで広範囲な商用GISデータが利用可能となることが判明した。本項では、GIS データの中身と形式を考慮して、ecoMA で利用するGISデータを選定する。ただし、選定対象となったGISデータは膨大なものであるため、ここでは「特に有効利用の可能性はある」と判断されたものについての紹介にとどめる。

4.3.2 データ一覧と内容

以下にデータの概要を示す。対象地域とは、GISが持つデータの範囲のことである。「調査の元データ」とは、GISデータの下となった公共団体その他の統計名称のことである。主な内容とは、ecoMA で利用可能性が考えられたデータの概略である。説明書なしとあるのは、内容は不明であったものの名称から有効ではないかと判断し検討したものである。

4.3.2.1 細密数値情報 首都圏版

対象地域	首都圏
調査の元データ	宅地利用動向調査
主な内容	5m * 5m単位での土地利用の種類
備考	新しいデータは存在しない

4.3.2.2 CityScope 東京都

対象地域	関東(東京・千葉・神奈川・埼玉)
調査の元データ	
主な内容	航空写真
備考	

4.3.2.3 北海道地図 GISMAP for terrain 説明書 for road

対象地域	全国
調査の元データ	国土地理院データ+北海道地図(株)の独自調査
主な内容	標高データ・道路データ(ルート検索可能)
備考	ルートの標高差も算出可能。道路距離算出可能

4.3.2.4 国勢調査 統計地図 SHP 版データ定義書

対象地域	全国
調査の元データ	国勢調査+パスコ調査
主な内容	3-4次メッシュ単位での人口・世帯・就業者数・階数別世帯数・世帯あたり延べ床・産業別人口・職業別人口など
備考	人口重み付けマンションの階数の地理分布 世帯あたり延べ床→住宅の普及向上政策の目標値設定

4.3.2.5 ZmapTownII (shape 版)

対象地域	全国
調査の元データ	国勢調査+パスコ調査
主な内容	行政区画・区割り・建物輪郭・建物住所・居住者名・

4.3.2.6 説明書なし

- 02_平成3年国土数値情報・土地利用メッシュ (Shape 形式) 5339
- 03_平成5年住宅・土地統計調査 (TXT 形式) 東京都
- 05_平成7年国勢調査 4次メッシュ (DID) 5339
- 06_平成8年事業所統計調査 4次メッシュ (DID) 5339.txt

4.3.3 まとめ

道路距離の算出の観点からは「北海道地図 for road」と「ZMAP towns」が有効であろうと判断された。実際のカーナビに採用されるなど現実社会にすでに適用事例があるとの判断から、今後の ecoMA プロジェクトは、「北海道地図 for road」を利用することと決定した。

建物分布の観点からは、「ZMAPtowns」に階高情報がある点が特に有効であると判断して、ecoMA での利用を検討しているところである。

国勢調査データは、前項までに述べたように従来の ecoMA 同様人口重み付けなどによる需要値の導出を行う場合に、GISとの連携によって計算の効率化が可能となると判断された。現状では、検討段階である。

建設需要を算出する観点からは、建物の用途種別を判定することが重要となる。細密数値情報はその点で有用ではないかと当初思われたが、「データが更新されていない」「対象地域が狭い」などの点で、有効性は高くないと現状では判断した。

航空写真はなんらかの解析技術を用いて建物形状を判断する可能性を検討したものであるが、ZMAPtowns が利用可能となったため現状では不要であると判断した。

4.4 GIS 解析結果の ecoMA での利用について

GIS 解析によって得られた道路距離、建物分布などの情報は、そのままでは ecoMA の入力データとして利用できない可能性がある。本項では、ecoMA へのインポート方法について述べる。

4.4.1 道路距離

4.4.1.1 方針

- 「北海道地図 GISMAP for road」から導出する
- 標高差つきの輸送距離は将来の目標
- 経路選定の戦略が明らかであること

4.4.1.2 GIS への入力と GIS からの出力

	GIS への入力	GIS からの出力
	選択肢1 (理想論・現状では不要) 工場の住所 選択肢2 (現状で理想的) 工場の緯度, 軽度の CSV ファイル	1. 道路距離(km) m オーダーでの高い精度は不要 2. 経路選択のアルゴリズムの明示: 大型車、有料道路不可など 3. 輸送時間(h) (理想論。現状ではかなり優先度が低い) 4. 航路距離 (理想論・現状では他の手法で対応可能なので不要)
サンプル 入出力	CSV ファイル	CSV ファイル
	#工場 ID , 工場 ID, 緯度, 軽度, 緯度, 経度 23,45, 135.34.3,135.45,56.34	#距離(km), 経路選択の手法ID 34,1
	23,46, 135.34.3,135.45,45.34 23,47, 135.34.3,135.45,43.34	45,2 36,3

4.4.1.3 まとめ

ecoMA との GIS との直接的な連携 (GIS 呼び出し) も検討した。技術的には可能であるが、ActiveX 呼び出しなどより高度なプログラミングが必要となり量力に見合わないことから、以下のよう
に実装することとした。

- GIS からの計算結果を csv ファイルなどテキストデータとして出力
- EcoMA 側でテキストデータのインポート機能を別途実装する
- 輸送時間は実装しない
- 経路選定の手法を明記する
- 航路は算出しない

4.4.2 建物の分布

以下に示す手法を検討したが、今のところ結論を得ていないので議論の過程のみ示すこととする。

4.4.2.1 方針

- 建物そのもののデータがなさそうならば、何種類か手法を試してみたい

- なるべく建物の分布そのものに近いデータを利用したい
- 関東全域で入手できなくても、小さな地域のもので可能ならば利用したい
- 築年数を知りたいが、データがないようだ

4.4.2.2 国勢調査 統計地図 SHP 版

4.4.2.3 階数を世帯数から類推する方法

利用する値	算出方法・期待する出力
(B-7 ページ) <ul style="list-style-type: none"> • 建物階数別世帯数 • 世帯あたり延べ床面積 	RC 造 or 鉄骨RC造のマンション延べ床(m2)= 世帯数(6~10+11階以上)×世帯あたり延床 木造の住宅延べ床面積(m2)= 1・2階の世帯数×世帯あたり延べ床
	課題
	<ul style="list-style-type: none"> • 3階～5階の取り扱いが難しい • 3次メッシュあたりに整理 • 述べ床分類と階数の対応付けが難しい • オフィスビル(鉄骨造)の述べ床が算出できない

4.4.2.4 ZMAP (家形情報データ 住宅地図データベース定義書 シェープファイル形式版

4.4.2.5 階数データ

利用する値	算出方法・期待する出力
(ZMAP マニュアル 15 ページ) <ul style="list-style-type: none"> • tatemono のフィールド階数 (floor) • 細密数値情報(用途地域) 	If (tatemono.floor <= 2 & 用途地域=住宅地) tatemono.attr=木造 Else if (tatemono.floor<3 & 用途地域==商業) Tatemono.attr= 軽量S造 Else if (tatemono.floor >=2 & 用途=工業・商業) Tatemono.attr = S造 Else if (tatemono.flor >=4 & 用途=住宅) Tatemono.attr = RC造 SRC造 3次メッシュごとに、以上の計算を行い 構造別・延べ床大中小別の個数をカウント
	<ul style="list-style-type: none"> • 道路長さ(km) • 幅(m)→平均幅で道路の規格ごとに分類する • 幅*長さ=道路面積の算出=過去の施工面積
	課題
	<ul style="list-style-type: none"> • 道路の面積については別の方法でもデータの入手を検討しているので優先度は低い • 低層の商業・住宅については要検討

4.5 まとめ

arcGIS を用いた道路距離計算の手法は、ほぼ自動化された形で作業可能となった。次項以降で述べるように、住所データもおおむね整備されつつあるので、今後は ecoMA データベースへの取り込み作業を行えばデータの精緻化が完了するところである。

一方で、建設・解体の地理分布については、次項以降に述べるように、聞き取り調査、GIS データのいずれにおいても網羅的なデータの入手に必ずしも成功していない。一自治体レベルなど解析対象を小さくすることでまずは評価を行い、有効性を示すことによってデータ整備を促したいと考えているところである。

5. 統計情報の収集

5.1 統計情報の入手と活用方法

ecoMA のシミュレーションを正確に実行する上で、輸送コストの違いは、取引工場間の距離、すなわち、工場の空間配置に大きく影響する。結果として、これが工場の取引先の選定に影響を与える。また生産コストや、廃棄コストの多くは、工場の生産効率や処理能力そのものに依存するために、実際の工場の住所、生産能力、処理能力、重機の所有台数などが重要である。

次に工場へ発注される注文総数、すなわち、「需要」は国家や構造物を建設したいと思うオーナーの要望に依存する。

その上で、結果的に、すでにある建物の総数やサービスの充実性に、大きく依存する。こういった市況の変化そのものを予測することは困難であるため、シミュレーションの妥当性を確保する上で、需要の総量およびその変化傾向を担保する目的で、本研究では、実際の過去の建築やインフラストラクチャーの着工統計を使用し、将来の着工量についても、既存の統計の傾向をかんがみて平均値を用いるなどの検討を加えなければならない。

以上の理由から、本研究では、統計情報を関係協会のとりまとめる統計情報、および、関係団体、業者などの個別調査・ヒアリングなどから、可能な限りの実態に即した統計情報を入手している。すでに入手した統計データは下記のようなデータ形式に分類される。

- 名簿(工場名と工場所在地、工場の生産能力などをまとめたもの)
- 地図(住所で場所が詳細に決まらない工場分布地図や組合の境界線図(マクロ地図)、工場内の機械配置図(マイクロ地図)の二つがある。地方の工場に関する限り、住所の1区画が大きいので正確な位置は地図によって知る方がよい。)
- 統計(1975年～2000年までの生産統計など、これは協会全体(マクロ統計)、一企業の統計(マイクロ統計)の二つが有る)
- 教材(協会発行の「製造工程のしくみ」「コンクリートとは？」などを基本的な製品の情報を載せた冊子など)
- 企業カタログ(企業発行の企業データ)
- 企業アンケート(企業からゲットしたアンケートデータ)
- ヒアリング(インタビュー・ヒアリングにて口頭でお聞きしたデータ、メモ書き)
- 学術論文

このようにして得られた統計データを、分類し、ecoMA へ入力可能な形に変換する。

5.2 ecoMA に必要なデータタイプ

企業から得られたデータや文献をもとに、ecoMA に入力されるデータが作成される。ecoMA に必要なデータとは、下記に示す項目であり、それぞれ役割がある。

位置	住所。最終的には経度緯度情報に変換され、工場間距離を測定し、輸送コスト、輸送環境負荷の算出に使用する
組合境界線	その工場の取引が組合単位の協同販売に基づいている場合、組合加盟工場と、それ以外の工場を区別する。
製品生産量	製品の生産量実績を示す。これは通常の工場の平均的な生産規模として入力しておき、シミュレーションの結果と見比べることによって、実態と大きな差がないか、整合性を確認する基準となる。
エネルギー消費	生産に関して必要な消費エネルギー原単位。環境負荷やコストに影響してくる。
廃棄物	生産に関して排出される廃棄物排出量原単位。環境負荷やコストに影響してくる。
販売価格	これは通常の工場の平均的な価格として入力しておき、シミュレーションの結果と見比べることによって、実態と大きな差がないか、整合性を確認する基準となる。
工場生産能力	工場の生産設備などの単位時間または一日当たりの生産能力。ここから年間稼働時間数や稼働日数をかけることによって、設備能力の観点からみた最大生産量を計算することができる。
製品種類+原料組合せ	製品を作るために使用される原料とその量。 必要な原料使用原単位となり、輸送や購入に関して環境負荷やコストに影響してくる。
廃棄物受入価格	製品を作る際の原料として廃棄物を受け入れ、お金をもらいう場合、その廃棄物の受け入れ価格。生産に関して環境負荷とコストに影響してくる。
在庫量	製品を作る際の原料をストックしておく場合、そのストック可能量と現在のストック量。ストック量が大きいと、大口注文を受けられるなどメリットも大きいと同時に、敷地が大きいことによって、場内輸送など消費エネルギー原単位が大きくなりがちである。

5.2.1 アスファルト合材工場

アスファルト合材工場は、アスファルト合材協会地方名簿を日本アスファルト合材協会の協力により頂いた。それを元に各都道府県の協会に問い合わせ、工場の名簿の閲覧が可能である。

名簿のデータは関東地方と、北海道地方は網羅しており、元の pdf データからエクセルデータに

打ち込み済みである。

5.2.1.1 データ完備状況

位置	組合境界線	製品生産量	エネルギー消費	廃棄物	販売価格	工場生産能力	製品種類+原料組合せ	廃棄物受入価格	在庫量
○ (名)	なし(アスファルトは完全競争)	△	△	△	△	△	○(教)	△	△

◎:完全達成、○:使えるレベルまで達成、△:要追加調査、×:データ不在、-:当面検討しない 名:名簿、統:統計、教:教材、カ:カタログ、ア:アンケート、ヒ:ヒアリング、論:論文

5.2.1.2 今後の対応

製品生産量、エネルギー消費量、廃棄物処理、工場生産能力といったデータに関しては一部の実工場よりアンケートを実施しているが、サンプル数が少なく、サンプリング地域も局在化しているために、より正確なデータを得るために広範囲なアンケートの実施を予定している。

5.2.2 セメント工場

5.2.2.1 データ整備状況

位置	組合境界線	製品生産量	エネルギー消費	廃棄物	販売価格	工場生産能力	製品種類+原料組合せ	廃棄物受入価格	在庫量
△	-	△	△	△	△	△	△	△	△

◎:完全達成、○:使えるレベルまで達成、△:要追加調査、×:データ不在、-:当面検討しない 名:名簿、統:統計、教:教材、カ:カタログ、ア:アンケート、ヒ:ヒアリング、論:論文

5.2.2.2 今後の対応

セメント工場は、業界の閉鎖性などの問題があり、工場の所在地データをのぞき、生産関連のデータについては、企業ごとの平均的なデータしか提供していない。また、セメントという、工業原料を生産する業態上、ecoMA にて知りたいデータの多くは、製造原価そのものを公開してしまうことに直接つながりかねない。このことは、セメントだけではなく、ほかの工業原料を生産する企業にとっても共通して言え、また企業秘密の暴露という法規的な問題にあたることから、今後は、それらを侵害することなく、調査を続けられる方法論を法律的な観点から、データ提供元である企業にも担保してあげられる仕組みを我々がもたなければならないため、調査のルールについては今後も検討し続けていく。

なお、今回を含め、当面は提供されている企業単位の工場データの平均値を用いて ecoMA で利用していくものとする。

5.2.3 砂利工場

5.2.3.1 データ整備状況

位置	組合境界線	製品生産量	エネルギー消費	廃棄物	販売価格	工場生産能力	製品性能	廃棄物受入価格	在庫量
○(名)	△	○(ア)	○(ア)	○(ア)	△	○(ア)	○(ア)	-	○(ア)

◎:完全達成、○:使えるレベルまで達成、△:要追加調査、×:データ不在、-:当面検討しない
 名:名簿、統:統計、教:教材、カ:カタログ、ア:アンケート、ヒ:ヒアリング、論:論文

5.2.4 最終処分場

5.2.4.1 データ整備状況

位置	組合境界線	製品生産量	エネルギー消費	廃棄物	販売価格	工場生産能力	製品性能	廃棄物受入価格	在庫量
○(ア)	×	△(名)	×	△(名)	×	△(名)	×	×	×

◎:完全達成、○:使えるレベルまで達成、△:要追加調査、×:データ不在、-:当面検討しない
 名:名簿、統:統計、教:教材、カ:カタログ、ア:アンケート、ヒ:ヒアリング、論:論文

5.2.4.2 今後の対応

産廃協会は、任意で加盟できる団体であり、全許可工場が入っているわけではない。

ただし、許可工場の中でも中小規模のものは休眠しているものがあるのので積極的に活動しているものを探し出す基準としては機能している可能性がある。

ただし、協会そのものは組合員への拘束力がほとんどなく、こちらか協会へ、アンケートのための組合員の工場の選定の依頼などは交渉の末、できなかった。そこで、基本的には名簿から個別に電話をかけ、個別に企業へ依頼することになる。

5.2.5 砕石工場

5.2.5.1 データ整備状況

位置	組合境界線	製品生産量	エネルギー消費	廃棄物	販売価格	工場生産能力	製品性能	廃棄物受入価格	在庫量
○(名)	△	△	△	△	△	△	△	-	△

◎:完全達成、○:使えるレベルまで達成、△:要追加調査、×:データ不在、-:当面検討しない
 名:名簿、統:統計、教:教材、カ:カタログ、ア:アンケート、ヒ:ヒアリング、論:論文

5.2.5.2 今後の対応

日本砕石新聞社の砕石統計年鑑には、全国各都道府県の砕石業者名簿と各社の各3年の採掘認可量(したがってここから規模情報が出せる)をまとめてあり、平成4年度版が最新でもう廃版となっている。

ただし、砕石の工場規模、可採量、重機、廃棄物、環境負荷がこの資料からは得られないため、アンケートなどから入力が必要である。

加えて、砕石統計年報の「都道府県別生産・出荷」を見ると、どの県からどの県へ、砕石工場が流通したかが書いてある。これを利用して、ecoMA対象地域に入ってくる砕石工場を選定しアンケートする方法をとり、現在アンケート調査中である。

例えば、下記の表のように、各県で消費される砕石は、下記の都道府県から流入してきている。

東京、神奈川	北海道、青森、岩手
千葉	青森、岩手、宮城、三重、兵庫、山口、高知、福岡、大分、関東圏
栃木、茨城	福島、栃木、茨城
埼玉、群馬	関東圏
北海道	北海道、青森
香川	兵庫、岡山、徳島、香川、愛媛、高知

但し、関東圏＝茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川、山梨、長野、静岡、とする。

5.2.6 生コン工場

生コン工場は生コン協同組合の協力により全国の生コン名簿 PDF を入手できている。残りの製造工程に関する情報は地方ごとの特性を聞く必要があることから、生産能力の規模ごとに何社かサンプリングしてアンケートをとり、その情報を、他の工場に対しても生産能力の規模を基準に適用することによって全生コンの工場エージェントを決定することになる。

5.2.6.1 データ整備状況

位置	組合境界線	製品生産量	エネルギー消費	廃棄物	販売価格	工場生産能力	製品種類+原料組合せ	廃棄物受入価格	在庫量
◎(名)	△(地)	○(ア)	○(ア)	○(ア)	○(ア)	○(名)	○(ア)	-	○(ア)

◎:完全達成、○:使えるレベルまで達成、△:要追加調査、×:データ不在、-:当面検討しない
 名:名簿、統:統計、教:教材、カ:カタログ、ア:アンケート、ヒ:ヒアリング、論:論文

5.2.6.2 今後の対応

工場の生産に関する情報はほぼ網羅できており、現状でもかなり正確なシミュレーション稼働が可能な状態になっている。

今後は、廃棄物の中でも生コン業界で、正確な調査が把握されていないスラッジの処理方法の

調査が必要ということで調査中である。

5.2.7 中間処理場

5.2.7.1 データ整備状況

位置	組合境界線	製品生産量	エネルギー消費	廃棄物	販売価格	工場生産能力	製品性能	廃棄物受入価格	在庫量
○(名)	△	△	△	△	△	△(一部産廃ネットなどに公開されているものあり)	△	△	△

◎:完全達成、○:使えるレベルまで達成、△:要追加調査、×:データ不在、-:当面検討しない
 名:名簿、統:統計、教:教材、カ:カタログ、ア:アンケート、ヒ:ヒアリング、論:論文

5.2.7.2 今後の対応

産廃協会は、任意で加盟できる団体であり、全許可工場が入っているわけではない。

ただし、許可工場の中でも中小規模のものは休眠しているものがあるため

積極的に活動しているものを探し出す基準としては機能している可能性がある。

ただし、協会そのものは組合員への拘束力がほとんどなく、こちらか協会へ、アンケートのための組合員の工場の選定の依頼などは交渉の末、できなかった。そこで、基本的には名簿から個別に電話をかけ、個別に企業へ依頼することになる。

5.3 建設・解体需要予測

5.3.1 建築物の建設統計

5.3.1.1 データ整備状況

建築着工統計(データの存在は知っているが膨大なため収集はしていない。)は比較的用意に手に入る。ただし、データそのものは極めて細かく集積されているだけで整理されていないので、シミュレーション地域に応じた収集や整理が必要である。

位置	組合境界線	製品生産量	エネルギー消費	廃棄物	販売価格	工場生産能力	製品性能	廃棄物受入価格	在庫量
△	ナシ	△	△	△	△	△	△	△	△

◎:完全達成、○:使えるレベルまで達成、△:要追加調査、×:データ不在、-:当面検討しない
 名:名簿、統:統計、教:教材、カ:カタログ、ア:アンケート、ヒ:ヒアリング、論:論文

5.3.1.2 建築物の解体統計

過去の着工統計と用途・規模別寿命関数(小松・野城他)から計算(論文の項目を参照)し、推

定解体量を得ることができるので、その解体値を用いることにする。

したがって建築物の解体統計は、それ自身が着工統計に依存したものと考えている。

位置	組合境界線	製品生産量	エネルギー消費	廃棄物	販売価格	工場生産能力	製品性能	廃棄物受入価格	在庫量
×(土木は地理情報が基本的にない)	存在しない	△	△	△	△	△	△	△	△

◎:完全達成、○:使えるレベルまで達成、△:要追加調査、×:データ不在、-:当面検討しない
 名:名簿、統:統計、教:教材、カ:カタログ、ア:アンケート、ヒ:ヒアリング、論:論文

5.3.2 土木の建設統計

土木の建設統計、ひいては、総生コン消費量は生コン年鑑などから分かるが、土木・建築の比率はわかっても、どれほどの量がどこに投入されているのか把握するのが難しい。

したがって、下記のとおり、橋梁、道路、トンネル、港湾といった土木構造物で消費される生コンを推定しなければならない。

5.3.2.1 コンクリート道路統計

道路統計年報が、戦後より冊子として揃っている。コンクリート舗装とアスファルト舗装の比率は明示されていないので、別の統計データから、コンクリート舗装とアスファルト舗装の比率について把握しなければならない。現在、その比率の推定方法について調査中である。

5.3.2.2 港湾の統計

(1) データの事情

a. 国土交通省港湾局

港湾局は各地の港湾の詳細データを管理していない。地方の各港湾管理者、港湾協会に電話して色々聞いたほうがよく、また、国交省が長期的な港湾整備計画をもっているものの、正確に実行されるわけではない。

b. 港湾協会

主要港湾の岸壁の深さと総延長については「日本の港湾」が毎年販売されており、ここに掲載されている。

5.3.2.3 橋梁の統計

(1) 日本橋梁建設協会

日本橋梁建設協会に問い合わせたところ、この協会の扱う橋梁は鉄骨橋梁なので、コンクリートが使われているのは、床版のみ。

なので、橋建協の守備範囲での資料としては橋梁年鑑データベースや、市販の道路統計年報のデータから、平均床版厚250mmを掛け合わせた数字がより現実的な数字に近いことがわかった。

(2)プレストレスト・コンクリート建設業協会

Pre-stressed Concrete Year Book 2006 といった年誌に当該年に施工された橋についての紹介がされているのである程度調べることは可能である。しかし、YearBook には 2005 年の受注件数が載っているが、これもコンクリート量がわかるデータはない。但し、当年の代表的橋梁ベスト 100 の受注実績については橋体コンクリート量が掲載されている。

PC(プレストレスコンクリート)橋をつくる工場は、生コン組合に所属する工場ではないが、自前で生コンプラントを持っており、これによって製品を作る。その全国工場分布図についても Year Book に掲載されている。つまり全ナマの統計とは別に、生コン需要が発生しているということなので、統計値としては、こういったプレストレスト・コンクリート工場に投入されたセメント量を把握する以外に方法がない。若干、道路統計に、道路統計の橋のコンクリート立米数が総計として載っているようである。

5.3.3 土木需要の予測

土木需要の未来の統計は、トンネルや橋がどこに計画されているかわからないが、最終的には道路整備量に依存するので、とりあえず各都道府県の計画決定された道路整備延長を調べることで未来工事総量を把握することにした。土木需要の将来予測が把握できる統計とは、各地方自治体の道路計画であり、地方自治体の都市計画関連の資料によって得ることができる。ただし、データと計画の整合性、進捗が曖昧なので、都市計画実態をヒアリングした上でデータを見極める必要がある。

5.4 データ整備の問題点

上記よりデータは順次整備されつつあるが、いくつかの共通したデータ整備の問題点があるので、下記にあげていく。

(1)公開データのフォーマットの乱雑さ

各業種とも、おもにそれぞれのコスト管理の必要性から、それなりの生産に関するデータを持っており、それぞれの目的に応じてデータを管理している。

ただし、それが公開となると、ガイドラインがあり、またデータ項目がことなっていたりして、そのデータの ecoMA 導入にストレスがある。近年 CSR などの観点から、こうした公開データについての機運は高まってきているものの、データに対して、特に建設系企業では、そのフォーマットを統一する議論には至っておらず、今後は社会的な告知活動などを通じて、公開されるデータの研究利用性や、外部評価利用性といった観点からデータのあり方について議論を高める必要があることを、広報していく必要があるものと考えられる。

これらのデータがあまりにも公開されないために、結果的に、工場の実情を知りたい多くの研究者によって、彼らはかなりの頻度のアンケートを年間に受けていることが報告されており、そそうした非公開やデータ公開企画の乱雑さがかえって業務そのものを悪化させつつある。

こうしたことも、どれくらいアンケートの再利用性が大事かを多くの人に理解してもらわないと意味がなく、実際的に、アンケート調査の実態をなるべく正確につかむひつようがあるものと考えられる。

(2) 管理組織の情報収集の問題

建設業界は、これまで非常に高い組織能力をもった企業体としてみなされがちであったが、近年、それが国庫財政の緊縮とそれに伴う、建設投資の減衰で、組織に利益的な動機が得られなくなり年々、組織力が低下しているといわれる。こうした組織力の低下にともなって、業界そのものが自由化されることに対する利益もあるものと考えるが、逆に、現況を知るための調査そのものの成果が、これらの協会や業界とタイアップする形で実施されるアンケート調査に依存するため、データそのものの回収率が落ちてしまうことによって精度が落ちてしまう危険性をもっている。

こうした問題に対しては、今後は所属組織ではなく、個別の工場に電話をいれたりしなければならず、効率が悪い、現在、なかなか整備が進まない、産業廃棄物や建設業界の会社情報データベースのアクセシビリティをさらに向上させる必要がある。

(3) 住所の緯度・経度変換の問題

多くの建設系工場は都会に立地しているものの、原材料の工場の多くは資源が埋蔵されている山間部に立地する。たとえばセメント、砕石などは、都市からはかなり離れた場所に立地するケースが多い。この一方で、それらの山間部にもつ住所についてはきわめて統合化がなされていない。たとえば、「大字」「字」など旧住所を常態的に利用する実態が多い。

こういった旧住所というのは、緯度経度変換できないものが多く、結果として環境負荷がどのくらい悪いのか、ということを示す場合に必要な輸送コストなどの問題を正確に反映できないため、

シミュレーションに利用しにくい。またこれらの工場の住所は、新住所になった今も、名簿などの情報は旧住所で明記されており、新住所が何なのかを調べるのが非常に難しくなっているのが現状である。今後は、工場の住所などのほかに、経度・緯度を、工場の登録時点で明記するような登録方法のほうが望ましいと考える。

5.5 データ整備状況まとめ

上記より、現在のデータ整備状況をまとめると下記のようなになる

生コン、砕石についてはデータがそろっているので、一部追加のアンケートをする程度でよい。

中間処理場、最終処分場、アスファルト合材工場については生産規模能力を含めた細かいアンケートの実施が必要である。

さらに建設需要、解体需要については、建築物の着工統計と解体統計は、基本的には着工統計からみた場合の解体量推定に基づいて、完備な状態になっている。

この一方で、土木構造物の着工統計と解体統計は、基本的には何も調べる方法がない。

唯一セメントの利用料や、生コンの使用比率などから、マクロな数字データを表現することは容易に可能であるが、どの場所にどれくらいのコンクリートが使用されたか。

土木構造物は建築物のように群となって面的にカバーすることはなく、橋やダムや高速道路といった、特定の地域に投入されることから、正確な位置の把握が、ecoMA の結果を大きく変化させるので注意が必要である。

6. コンクリート関連産業の調査－現状と動向の把握

6.1 調査目的

前章までに述べたように、ecoMA のシステムでは行動主体となる企業や工場の情報や、生産活動にともなう物の流れを詳細に把握して、より現実社会の実態に即したシミュレーションを行う必要がある。そのため統計データや各業界で集計されているデータのみでは、システムへの実装上不十分であることが想定されるため、必要となるデータを個別に収集することが求められる。また、地理的な条件の違いをデータのみから推察することはきわめて難しいため、マテリアルフローに関連した各地域における条件の違い、社会的または慣習上の要因などを把握することも重要である。そこで、本研究ではコンクリート関連産業において統計的なデータ収集とは別に実地調査としてヒアリング調査を行ない、環境負荷原単位の策定を含めた地域・業種別の工場の情報を収集した。また、各関連業界の現状や今後の動向を把握することで、経済状況・地理的事実・環境条件等による地域性の違いを把握し、そのことをふまえてこれらの違いが、工場ごとの物流や生産活動、実際の環境負荷原単位にどれだけの影響を与えているのかを比較・検討した。

6.2 調査概要

調査範囲は関東圏とし、全ての調査において各業界の主な組合・協会へのヒアリング調査をはじめに行うこととした。対象地域の全対象工場を調査することは不可能であるため、データの提供に協力可能な工場の選定を協会等へのヒアリング調査であらかじめおこない、効率的に情報を収集できるようにした。また、地域差や工場の規模の違いについても検討可能なように調査対象を決定した。実際に実地に赴き、聞き取りを行うことができる工場は限られているため、今回の調査で全ての情報を入手できるわけではないが、今後のデータ収集とシミュレーションを行う上でのシナリオ設定のための方向性を見定めるための貴重な情報を得ることが可能である。また、実地調査とは別に、協会等を通してのアンケート調査を実施してできるだけ多数の工場の情報を収集している。このアンケート調査の回収率を増やすため、協会等・各工場へのヒアリング調査を事前に行って、アンケート依頼や他組合の紹介、現状や傾向、組織形態、工場規模、使用エネルギー種類等の聞き取りを行った。これら調査結果より、各産業の物流の実態を把握し工場ごとの環境負荷原単位を算出し、ecoMA システムにおけるエージェントの情報として実装する。

6.3 調査対象

今回の調査は以下に示すようなコンクリート関連産業におけるマテリアルフローの概略図をもとに、生コンクリート・砂利・砕石・アスファルト合材・中間処理場・最終処分場を対象としている。

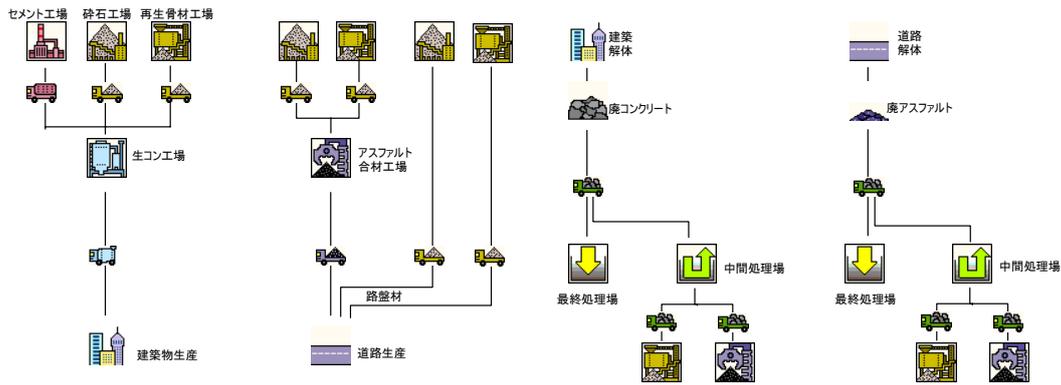


図 24 マテリアルフローの概略図

今回の調査でヒアリングを行った企業・工場は以下のような内訳となっている。

表 4 調査対象の内訳

生コンクリート	東京都生コン工業組合(全数アンケート調査の実施) 生コンクリート工場(埼玉)
砕石・砂利	砕石工場(八王子・多摩)
輸送関連業者	船舶物流(千葉)
アスファルト合材	合材工場(横浜)
廃棄物処理	中間処理工場(都内×3・千葉・栃木・川崎) 最終処分場(福島・千葉)

工場に対するヒアリング調査の主な内容は、

- ・ 工場(企業)の事業内容について
- ・ 業界の現状について
- ・ 輸送形式について
- ・ 出荷先について
- ・ 廃棄物の発生と処理方法について

などであり、業界における細部を理解するものについてである。

6.4 ヒアリング調査結果

6.4.1 生コンクリート産業における調査

生コンクリート業界は組織率が他のコンクリート関連産業と比較しても高いため、広範なデータの収集が可能となる。前章でも述べているが、生コンクリート工場の製造工程に関する情報は地域ごとの特性を把握しておく必要があることから、生産能力の規模ごとに何社かサンプリングしてアンケートを取り、その情報を元に他の工場の生産能力の規模を基準として推定値を適用することが可能となる。アンケート調査を実施した結果の一例として、工場の稼働率と消費エネルギーの関係について図に示す。

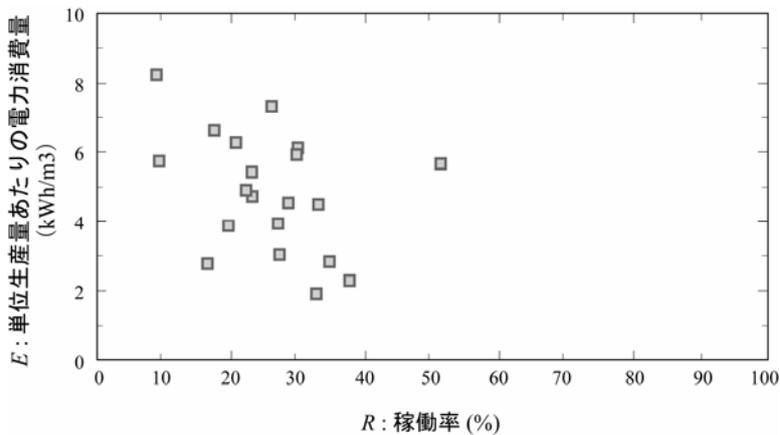


図 25 生コンクリート工場の稼働率と電力消費量の関係

6.4.2 砕石産業における現状・動向

砕石工場は砂利工場と違い、製造プラントと採石場が分かれていることはほとんどなく、岩石を採取している場所に製造プラントが隣接している。そのため、構内の岩石運搬にはオフロードダンプを使用している。砕石工場の規模の目安として、100万トン/年程度あれば大規模といわれ、小規模なところでは、10万トン/年に満たないところもある。また、石灰石工場の一番小さい規模が、砕石工場の一番大きい規模に相当すると考えてよい。また、使用する水は、料金のかかるようなものは基本的に利用せず、循環させているところが多い。

出荷している製品に関して砕石の利点として挙げられるのは品質の安定性である。砂利の場合、採取した場所により粒度が違い、粘土等の不純物の混入もある。しかし砕石にはそのようなことが少なく、工業化されているため品質が安定している。

多くの砕石工場は、道路用砕石を主力製品としていたが、時代の変化に伴いコンクリート用砕石が主力へと移り変わってきたところも多い。全国の出荷量全体ではコンクリート用砕石の方が多くなっている。

2004年に、全国の生コンが使用した粗骨材のなかで砕石の割合が7割を超えた。砕石の使用比率は1998年に比べ5.5ポイント上昇し、72.4%となった。砕石の使用比率が少なかった北海道、東北で10ポイント以上、上昇している。

茨城県、栃木県でも砕石の使用割合が増加した。茨城県で21.8ポイント、栃木県は7.9ポイント上昇した。両県は砕石の産地で、今も骨材を首都圏に供給しているが、2003年に首都圏で施行されたディーゼル車排出ガスの影響で、首都圏に移入できなくなった一部のダンプが、他の地域へ供給するようになったためとみられる。茨城県では河川砂利、山陸砂利の減少分を砕石がカバー。栃木県では河川砂利は減ったが、山陸砂利はほぼ横ばいとなった。長野県は全国で唯一河川砂利が増加した。首都圏(一都三県)では砕石の比率が90%前後となっている。

輸送先については、製品の主な出荷先は、生コン工場・アスコン工場・道路の舗装現場などである。

出荷先の生コン工場については、基本的に得意先が決まっていると考えてよい。運搬にはダンプトラックや、船舶が利用される。船舶は遠くの出荷先に大量に運ぶときに利用される。基本的には10tトラックによって出荷先へと運ばれる。

廃棄物に関しては、砕石の製造工程において発生するものとして、廃土・廃石があるが、これらは構内の埋め戻しへの利用や、道路や宅地の盛り土として使われる。

砕石工場は原石の確保をする上で広大な事業用地を確保おり、この土地の利用実績としては工場用地、宅地などがあるが、現在は産廃物であるコンクリートガラ、アスコンガラなどを受け入れて中間処理を行い、自らの製品である路盤材と混合してリサイクル事業を行うことや、建設残土の受け入れ処理などに利用している。

また、砕石業者の半分くらいは輸送部門を持っている(砕石は舗装、砂利は生コンという骨材の棲み分けがあったため、砕石は舗装現場に運ぶ必要があった)。そのため、輸送を効率よくするために、砕石工場から砕石を現場に運び、その帰りにコンクリート塊を再生処理場に運ぶといった複荷をしているところもある。

栃木の砕石は生産量の約8割が県外に出荷され、主な商圏は首都圏なので、100キロを超える長距離輸送になるケースもある。現在の原油高の影響を受け、ダンプ車が減少しており、備車の手配が難しくなっている。

ディーゼル車排出ガス規制が施行された4年前から値戻し活動を本格化しており、活動が実効を上げてきた。アスファルト向けは、12月までに工場持ち込み価格でトン当たり150~200円程度上昇しており、今後、生コン向けの交渉が本格化する見通しである。

関東地区の生コン工場では、現在のところ比較的近郊で骨材を調達しているが、今後、骨材の調達先を変更する予定がある、または検討中の工場も多く、砕石の使用形態の多様化、流通経路の複雑化の流れがうかがえる結果となった。

最後に調査結果の例として、砕石工場における生産量と電力の使用量と用途別軽油使用量との関係を示す。

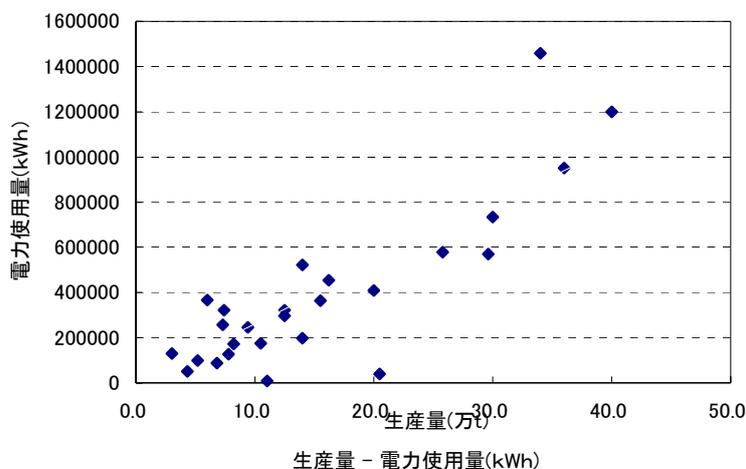


図 26 砕石工場の生産量—電力使用量(kWh)

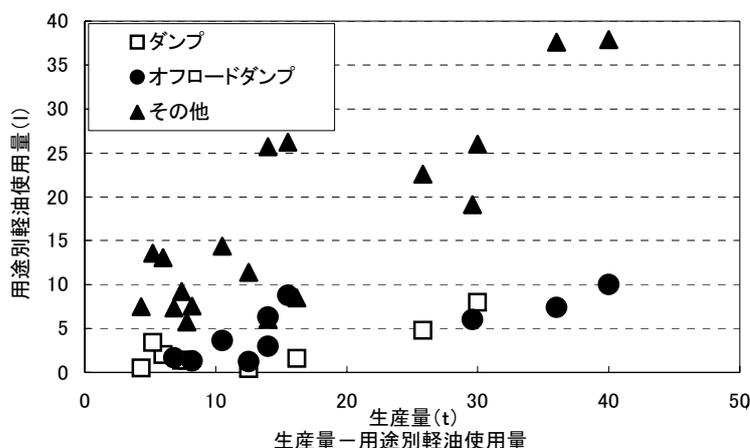


図 27 砕石工場の生産量一用途別軽油使用量

6.4.3 砂利産業における現状・動向

以前は河川からの砂利の採取が主流となっており、埋め戻しといった制度も確立されていなかったため、周辺の土壌が弱くなり橋などにかかる影響が出始めたことにより、各都道府県等の各自治体で河川からの採取を禁止・制限が行われ、1964年をピークに河川からの砂利採取は減少している。だが、最近では島根県で河川砂利の採取を一時・一定期間の採取を許可し、環境への影響を見ようという動きもある。

川砂利に代わって採取が行われるようになった山・陸砂利でも良質のものや豊富な場所・経済的に有利な場所からは採取され尽くされつつあるとみられており、生産量は全体として減少傾向にある。

砂利業から砕石業へと移行する業者も増えてきている。大規模に掘削をして一定粒度の製品を生産できる砕石業に比べ、砂利は採取場により得られるサイズ・品質も一定でなく、JIS規格も存在していないため、工業製品としての信頼度を得にくいという問題もあると考えられる。

都心部での砂利業者は事務所がある場所と、実際に採取を行っている現場とはかなりの距離があるケースが多い。このことは、東京の砂利組合に加盟している業者は存在しているにも関わらず、洗浄プラントですら都内には現在ないことから伺える。それでも聞き取り調査の内容、輸送に関わる費用を考えても、洗浄プラントや本社のある位置から近い場所から採取が行われることが望まれ、建設需要の高い都心においては、必要とされる骨材量も多いと見られるので、現在では次第に郊外へ向かって採取が行われているものと考えられる。

現在、関東で使用される砂利の多くは埼玉や栃木からのものが多いことも、このことの裏づけになるとみられる。砂利の輸送範囲が50km圏内ということは都心からの直線距離では茨城県や埼玉県近郊まで網羅することから、郊外への採取上の広がりを見る要素になる。

郊外への採取上の移転とともに、洗浄プラントも移動することが輸送の経費上望まれると見られるが、需要の低下により経営的に新たなプラント設置が難しい企業もあるため、倒産する場合や、自社の洗浄プラントに持ち込まず、直接コンクリート業者や砂利販売業者へ持ち込むといった砂利採取のみを行う業者も存在していると考えられる。これは霞ヶ浦や利根川の採取場では洗浄せずに出荷している企業が多いのは、この周辺地域から骨材とともに採取される水分が淡水であり塩分を含んでいないため洗浄の必要があまりないことに加え、このこともひとつの理由と考察することができる。

最後にアンケート調査の解析例として、砂利工場における生産量と単位生産量あたりの CO₂ 排出量の関係を図に示す。

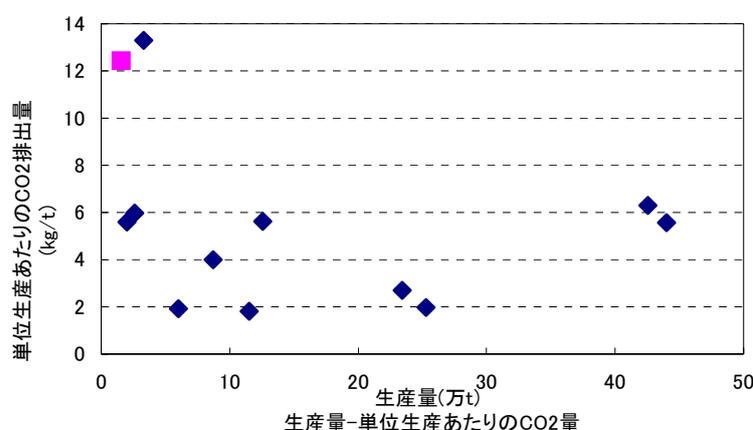


図 28 砂利工場の生産量—単位生産当りの CO₂ 排出量 (kg/t)

6.4.4 アスファルト産業における現状・動向

平成 12 年度の建設廃棄物としてのアスコン塊は 3000 万トンである。その内 1000 万トン分は初めの段階で中間処理場に持ち込まれており、土壌分の混入具合に関わらず路盤材になっている。残りの 2000 万トンのうち、1500 万トンぐらいが再生合材として利用され、残りの 500 万トンが、再生路盤材として利用されている。

廃アスファルト合材は、基本的には現場から直接工場にやってくるが、アスコンを細かくする専門業者もあり、そこから買い取る場合もある。最近では予防的修繕として、道を舗装修繕するときに完全にすべての舗装材を掘削するのではなくて、表層部分の 3~4cm のみを剥がして、補修を行なうケースも増えてきている。

設計寿命はだいたい耐用年数が 5~10 年の想定であるが、実際それをどれくらいの頻度で更新しているかは状況によりまちまちであると考えられる。

アスファルト合材工場における混合能力が 60t/h 以下なら工場規模は小さい部類であると考えられる。60t/h を標準とし、120t/h 以下なら中規模、120t/h 以上は大規模として分類するのが業界としての一般的な考え方である。合材工場の敷地面積は、だいたい 5000 平米~10000 平米程度で

ある。また、生産量としては全国的には、1 バッチ 1t~2t が主流であり、1 バッチあたり製造に 1 分程度かかる。高速道路関連では 1 バッチ 4t といったケースもある。

アスファルトタンクは出荷までに 150℃から 160℃で保温する必要があるため、消費エネルギーを検討するうえで重要な要素となる。このことからアスファルト合材 1t を製造するのに、10L の重油が必要(ドライヤーで使用)である。また、再生設備によって、再生骨材を入れられる比率が異なる。

アスファルトの輸送は 40km 以内がほとんどであり、都心部では 15km 以内の輸送が一般的である。輸送方法は、ダンプトラックにシートを掛けて保温した状態で行われる他、専用タンクローリー(加熱装置つき)による輸送も行われる。施工現場にはダンプトラックにシートをかぶせて保温して運べば、温度低下はそれほどない。

最後にアンケート調査の解析例として、アスファルト合材工場の出荷量と単位出荷量当りの CO₂ 排出量の関係を図に示す。

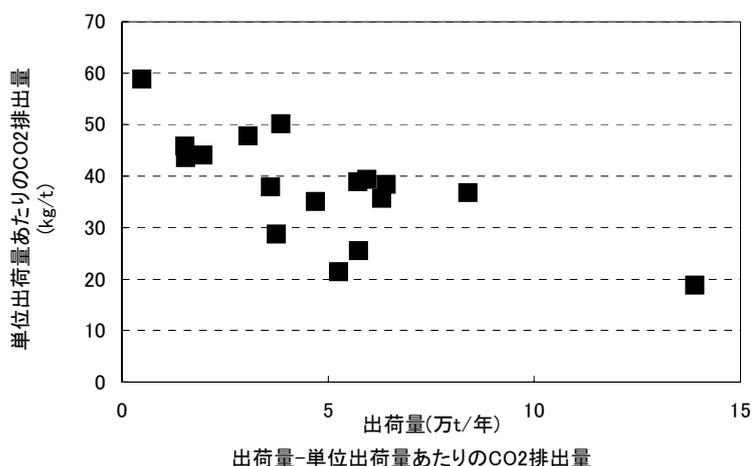


図 29 アスファルト合材工場の出荷量—単位出荷量当りの CO₂ 排出量 (kg/t)

6.5 調査のまとめと今後の課題

以上のように、コンクリート関連産業における生産活動の実態と物流を把握すべくヒアリングならびにアンケート調査を行った。対象とする業界が広くまた工場数も多いため、ecoMA による資源循環のシミュレーションを正確に実施するまでの必要十分なデータを揃えることは必ずしも達成されたとはいえない。しかし、ヒアリング調査により材料の入荷・出荷に応じてどのような輸送経路を、生コンクリートの各生産段階においてとっているのか、その輸送手段とともにほぼ把握できつつあるといえる段階まで調査が進んできている。今後は輸送に関してさらに各産業の情報収集を行うとともに、材料の流れと管理という観点から、各材料がどこにどれだけ存在しているのかを把握する目的でストックヤードの容量と場所の把握を視野に入れて調査を進めていく必要があると考えられる。

7. まとめ

本研究課題では、我々研究グループが兼ねてより開発してきた、建設需要や建築物の寿命とその地理分布、商習慣、政策やリサイクル技術の発達といった各種要因を統合的にモデル化した資源循環シミュレータ ecoMA を基盤として主に、GIS との連携を主眼として研究を進めた。本シミュレータ ecoMA は、2 章にまとめたように、各建設会社がある時点で稼動している複数の現場情報を入力して、その各現場の位置情報、材料投入特性と意思決定とに起因する環境負荷を評価できるという特徴がある。

そこで、本システムを GIS と連携させることで、建設企業の廃棄物管理に資するコンクリート系建設材料の廃棄物発生の地理的分布とその輸送状況について GIS 上にデータ整備と可視化を行い、統計データを建設企業や自治体にとって利用しやすい形で整備すると共に、顧客や市民に視覚的に分かりやすく提示出来るようにすることを目的とする。

この目的を達成するために下記のような調査・開発をおこなった。

- ① 統計情報の収集とその可視化
- ② 経年情報を加味したコンクリート系廃棄物の発生量予測の地理分布
- ③ 輸送状況の把握とその可視化

ecoMA のシミュレーションを正確に実行する上で、ecoMA 上に存在する各工場間の輸送コストの違いは、取引工場間の距離、すなわち、工場の空間配置に大きく影響する。そこで、我々は関係協会のとりまとめる統計情報、および、関係団体、業者などの個別調査・ヒアリングなどから、可能な限りの実態に即した統計情報を入手した。ecoMA に必要であり今回入手されたデータとしては、位置(住所)・組合境界線・製品生産量・エネルギー消費などといった情報であり、得られた統計データは適切に分類され、ecoMA へ入力可能な形に変換を行った。これらデータを利用した GIS との連携のためには、輸送に関する地理的情報の処理方法を検討する必要がある。

これまでの ecoMA における地理因子の入力・解析・出力の各段階における問題点として、①距離計算を直線距離からの推定値に頼っている、②工場の位置を標準地域メッシュの中心点に換算してしまっている、③建設需要の地理的な重み付け分布を人口重み付けからの推定に頼っている、などといった点が挙げられ、これらのうち本研究課題では①の問題点を解決するために、arcGIS を利用した道路距離の算出方法を検討した。

具体的には、以下について検討をおこなった。

- ・ ArcGIS を利用した手動道路距離の算出方法
 - ・ ArcGIS を利用した半自動型の道路距離算出方法
 - ・ CSIS 共同研究の枠組みの中で新たに利用可能となった GIS データの中身の検討
- その結果、以下のような特徴をふまえた道路距離データベースを ecoMA に利用可能な形で整備できることが判明した。
- ・ 現実に即した道路距離であること
 - ・ 道路幅や一方通行など実際の道路における制約を考慮した経路となっていること
 - ・ 日本の任意の2地点について、ecoMA で要求される距離精度を持った結果となること

arcGIS を用いた道路距離計算の手法はほぼ自動化された形で作業可能となった。ecoMA で対象とされる工場の住所データも、おおむね整備されつつあるので、今後はそれらの ecoMA データベースへの取り込み作業を行うことでデータの精緻化が完了すると考えられる。

以上のように、資源循環シミュレーションシステム ecoMA と GIS を連携させることで、コンクリート系産業の物流に起因する輸送をより正確に把握することが可能となり、マテリアルフローの精緻な実態把握と将来予測を実現するための成果が得られた。

8. 謝辞

本研究課題を遂行するに当たって、研究費を助成していただいた日本建築情報センターの関係者各位ならびに審査委員各位に心より感謝を申し上げます。また、研究の遂行に当たってご協力を頂いた、マップコンシェルジュ(株)の古橋大地様に感謝を申し上げます。また、本研究プロジェクトの遂行に当たって、東京大学空間情報科学研究センターの共同研究(GISデータ共同利用)の枠組みを利用させていただきました。ここに感謝を申し上げます。

助成研究者 紹介

のぐち たかふみ

野口 貴文

現職

東京大学 大学院 工学系研究科 准教授（申請時、助教授）（博士（工学））

主な研究歴

1988年6月：東京大学 工学部 助手

高強度コンクリート開発と力学性能の評価、高流動コンクリートのレオロジー評価、完全リサイクルコンクリートの開発、鉄筋が腐食したコンクリート構造物の耐力予測

1998年3月：東京大学 大学院 工学系研究科 助教授

外装材の性能設計、遺伝的アルゴリズムによる調合設計・維持管理最適化システムの開発、資源循環支援システムの開発

2007年4月：東京大学 大学院 工学系研究科 准教授

主な著書

「マテリアル・デザイナー－建築の素材・材料チェックリスト」（共著、編集顧問）

「コンクリート建物改修事典」（共著）

SURVEYANCE ON GEOGRAPHICAL DATA OF EMISSION AND TRANSPORTATION OF CONSTRUCTION WASTES AIMING TO DEVELOP THE DATABASE FOR RESOURCE FLOW SIMULATION SYSTEM “ECOMA”

Noguchi.T.¹ Kanematsu.M.² Nagai.H.¹ Kitagaki.R.² Fujimoto.S.¹
¹The University of Tokyo ²Tokyo University of Science

This project is based on the resource flow system called “ecoMA”. The system has been intensively developed by the same project members since these years, and have the grand-design encompassing the 3 following factors; social, geographical and time factors. One of the main characteristic of the system “ecoMA” is that the both material in-out data and decision making factors of the production companies can be taken into consideration in the process of environmental evaluation.

Purpose of this project is to improve the “ecoMA” database on geographical factors, mainly on road distance and building-scraping estimation database, and to visualize the estimated emission and transportation of the construction waste of concrete related materials. To archive this goal, following surveys and developments have been investigated.

- 1) GIS data survey and field survey
- 2) A study on method for road distance calculation
- 3) Possible solution study for “ecoMA” and GIS integration and visualization

Distance of each plant is strongly affected the geographical distribution of the plants. Therefore, environmental impacts, and the corresponding behavior of the plants are also affected by the above factor. Both field, interview and existing governmental-commercial surveys are investigated to simulate the most possible realistic situation. For example, address, lat/long address, geographical borders between each cooperative associations, amount of productions are categorized and converted into the “ecoMA” database. Under the above situation, geographical factors such as road distance and location of existing buildings statistics were considered to be the most lacking factors to integrate the “ecoMA” and GIS system.

Current “ecoMA” system also lacks in some strictness on geographical factors;

- 1) Distance between plants is estimated from linear distance,
- 2) Location of plants is converted into the center-point of the grid-square.
- 3) Building and scrap is indirectly estimated from population statistics.

To solve the above problems, the following solution is investigated on trial.

- 1) Hand calculation method of road distance using ArcGIS 9.2.
- 2) Semi-auto calculation method of road distance using ArcGIS 9.2
- 3) GIS data selection from available GIS datas.

Consequent to the above investigation, it has been clarified that “ecoMA” road distance database with the following characteristics could be developed.

- 1) Road distance based on the existing road
- 2) Includes road width, direction and other characteristics and legal restrictions
- 3) Enough accuracy for “ecoMA”

Finally, semi-automatic road distance calculation method for “ecoMA” and the acquisition of GIS database is archived in this project. Although many of the conversion works are still remained undone, basic methodology for road distance calculation is almost established.

As shown above, refinement of database and visualization technique is established as a basis for the simulation and estimation of the industries of concrete related materials.

KEYWORDS: *resource flow, environmental impact, concrete, road distance construction material*

研 究 成 果 の 要 約

助成番号	助 成 研 究 名	研 究 者 ・ 所 属
第 号	GISを用いた静脈物流の資源循環支援システムのための コンクリート系廃棄物発生量の予測とその輸送に関する調査研究	野口貴文・東京大学
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>本研究課題では、我々研究グループがかねてより開発してきた、建設需要や建築物の寿命とその地理分布、商習慣、政策やリサイクル技術の発達といった各種要因を統合的にモデル化した資源循環シミュレータecoMAを基盤として研究が進められる。このシミュレータecoMAは、各建設会社がある時点で稼働している複数の現場情報を入力して、その各現場の位置情報、材料投入特性と意思決定とに起因する環境負荷を評価できるという特徴がある。</p> <p>そこで、上述システムをGISと連携させることで、建設企業の廃棄物管理に資するコンクリート系建設材料の廃棄物発生量の地理的分布とその輸送状況についてGIS上にデータ整備と可視化を行い、統計データを建設企業や自治体にとって利用しやすい形で整備すると共に、顧客や市民に視覚的に分かりやすく提示出来るようにすることを目的とする。この目的を達成するために下記のような調査・開発をおこなった。</p> <p>① GIS統計調査とフィールド調査</p> <p>② GISを用いた道路距離データベース作成法の確立</p> <p>③ ecoMAとGISの連携と可視化手法の検討</p> <p>ecoMAのシミュレーションを正確に実行する上で、ecoMA上に存在する各工場間の輸送コストの違いは、取引工場間の距離、すなわち、工場の空間配置に大きく影響する。そこで、我々は関係協会のとりまとめる統計情報、および、関係団体、業者などの個別調査・ヒアリングなどから、可能な限りの実態に即した統計情報を入手した。ecoMAに必要であり今回入手されたデータとしては、位置（住所）・組合境界線・製品生産量・エネルギー消費などといった情報であり、得られた統計データは適切に分類され、ecoMAへ入力可能な形に変換を行った。これらデータを利用したGISとの連携のためには、輸送に関する地理的情報の処理方法を検討する必要があった。</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>これまでのecoMAにおける地理因子の入力・解析・出力の各段階における問題点として、①距離計算を直線距離からの推定値に頼っている、②工場の位置を標準地域メッシュの中心点に換算してしまっている、③建設需要の地理的な重み付け分布を人口重み付けからの推定に頼っている、などといった点が挙げられ、これらのうち本研究課題では①の問題点を解決するために、arcGISを利用した道路距離の算出方法を検討した。</p> <p>具体的には、以下について検討をおこなった。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ArcGISを利用した手動道路距離の算出方法 ・ ArcGISを利用した半自動型の道路距離算出方法 ・ CSIS共同研究の枠組みの中で新たに利用可能となったGISデータの中身の検討 <p>その結果、以下のような特徴をふまえた道路距離データベースをecoMAに利用可能な形で整備できることが判明した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 現実に即した道路距離であること ・ 道路幅や一方通行など実際の道路における制約を考慮した経路となっていること ・ 日本の任意の2地点について、ecoMAで要求される距離精度を持った結果となること <p>arcGISを用いた道路距離計算の手法はほぼ自動化された形で作業可能となった。ecoMAで対象とされる工場の住所データも、おおむね整備されつつあるので、今後はそれらのecoMAデータベースへの取り込み作業を行うことでデータの精緻化が完了すると思われる。</p> <p>以上のように、資源循環シミュレーションシステムecoMAとGISを連携させることで、コンクリート系産業の物流に起因する輸送をより正確に把握することが可能となり、マテリアルフローの精緻な実態把握と将来予測を実現するための成果が得られた。</p> </div> </div>		