

# 統合型 GIS データベースの構築と エネルギー・資源循環システム設計への適用

戸川卓哉<sup>1</sup>・藤田壮<sup>2</sup>・藤井実<sup>2</sup>・大西悟<sup>2</sup>・平野勇二郎<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 国立環境研究所 社会環境システム研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)  
E-mail:togawa.takuya@nies.go.jp

<sup>2</sup>正会員 国立環境研究所 社会環境システム研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

資源・エネルギーの利用効率の高い低炭素都市実現には、空間的に偏在している資源・エネルギーの需給を効率的にマッチングする必要がある。そのためには、長期的な計画とともに、リアルタイムでの行動マネジメントが重要となる。したがって、土地利用やインフラ敷設状況等の地域空間特性、およびそれらの上で行われる生産・生活活動の情報に基づく統合的なデータベースを構築するとともに、エネルギー・資源循環システムを適切に運営・設計する方法論の確立が求められている。本研究では、都市の多様な空間情報についてその収集可能性を検討するとともに、得られたデータベースの資源・エネルギー循環システム設計に向けた活用可能性について考察する。最後に、実地域を対象として展開している情報ネットワークシステムについて紹介し、その利用実態と今後の展望について議論する。

**Key Words:** big data, ICT, renewable energy, unutilized energy, land use, scenario approach

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景

低炭素社会の実現のためには、インフラ更新や土地利用の誘導等も含めた、資源・エネルギーに関連する様々な施策について、2050年程度を見越した長期的な計画に関する議論が必要である。そのためには、将来の技術状況把握と長期的な計画に関する情報が必要である。他方で、より直接的な都市の制御が必要となると考えられる。例えば、これまでポテンシャルを十分に発揮できないまま廃棄されていた資源やエネルギーの適切な情報制御による利活用が重要となる。気象状況等による影響を受けるため不安定な再生可能エネルギーの大幅導入のためには、都市における需要側の制御システムの構築が求められている。このような目的を達成するためには、よりきめ細やかな都市の計画と制御が必要であり、都市・地域に、生物における神経システムに対応するような、情報の生成・流通・解析とそのフィードバックのための機能の実装が必要となる。

一方、近年では、図-1に示すように、様々なネットワ

ークに接続された情報デバイスが普及しており、都市・地域に関する多種多様なデータの観測・蓄積が実現できる環境が整備されている。例えば、ICカードを通じた公共交通利用履歴や購買履歴等のデータや携帯情報端末の普及やソーシャルネットワークサービスの定着を背景とした位置情報と関連付けられた行動データが既に利活用されている[1]。これらのデータは、必ずしも定型的に構築化されている訳ではないが、既往研究[2-4]において指摘されているように、膨大な情報蓄積が進みつつあることは定量的観点からも確認されている。このように、生成・流通・蓄積されているデータ量は増加の一途を辿っており、都市を取り巻く情報環境は大きく変化しつつある。

なお、これまでも、都市・地域に関する基本的なデータは整備されてきており、都市計画や地域に関連する様々な政策決定・意思決定に活用されてきた。特に、国勢調査等の基盤統計は町丁目単位もしくは500mメッシュ単位といった詳細な空間解像度で定期的に整備されている。また、人工衛星等による地域空間のリモートセンシング技術も発展しており、基盤データの一部として活

用されている。これらの情報は、行政等の施策決定における基本的な情報源として活用されてきた。

また、携帯端末や多様なデバイスへの組み込みシステム(Embedded system)の普及は、都市・地域に対して多様なチャンネルを通じた情報発信の可能性を高めている。つまり、生成・流通・蓄積されたデータに基づく解析結果は、これまでのように、長期的な計画への反映のみではなく、リアルタイムでの都市・地域に対してフィードバック可能であり、各主体の行動をより直接的に制御できる可能性も広がりつつある。

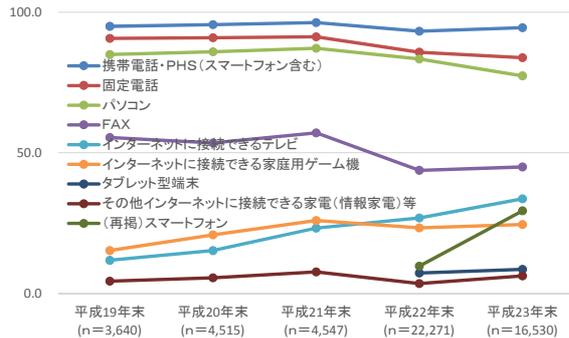


図-1 情報関連デバイスの普及状況  
(文献[1]より作成)

## (2) 研究の目的

本研究では、都市・地域における情報環境(モニタリング、データベース、フィードバック機能)の変化を前提として、都市・地域の計画とマネジメントシステムの構築を目的に、以下のようなプロセスで検討を実施する。

1. 既に世の中に存在する都市・地域に関するデータの全体的状況の整理を行うとともに、ICTを通じた新たなデータ取得可能性を検証する。これにより、都市・地域における情報の生成・流通・蓄積の状況について、その流れを把握する。
2. 様々な方法により収集した地域情報を統合することで全体的状況を可視化する技術の開発可能性について検討する。
3. 地域固有の社会・経済的な背景に対応し、地域に存在するエネルギー・資源循環のポテンシャルを活用しつつ、長期的ビジョンにもとづいた低炭素で持続可能な都市・地域を設計するプロセスについて検討する。
4. 都市・地域情報のモニタリングと解析の結果に基づき、リアルタイムでの活動を支援する情報サービスのデザインについて検討する。特に、解析結果に基づく予測的な行動支援を行う環境について考察する。

図-1に本研究で検討する地域情報の収集と利活用の流れのイメージを示す。

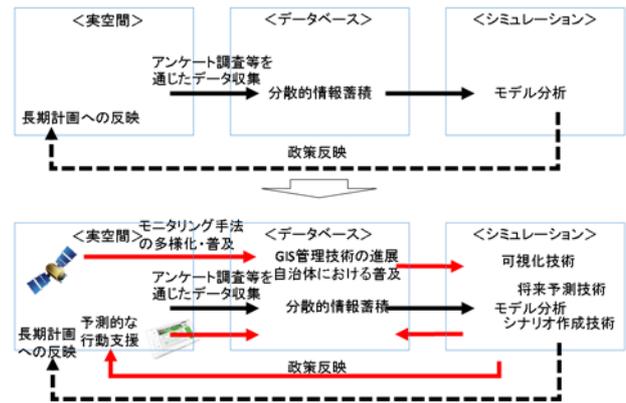


図-2 都市・地域におけるデータ環境の変化

## 2 都市・地域データの生成・流通・蓄積とGISデータベース

都市・地域に関連するデータを、その収集手法の観点から分類し、類型ごとの整備状況、調査手法の特徴、データの特性等について検討する。

### (1) 基本統計データ

行政機関を中心として、様々なデータが収集されており、GISでの利用を前提とした空間データとして整理されているものも存在する。それらの一部は、国土数値情報等のインターネットサービスを通じフリーで配布されている。

国勢調査を始め、工業時計、住宅統計等の大規模の悉皆調査が5年から10年の間隔で実施される。さらに、一部のデータは標準4次メッシュ(500mグリッド)や町丁目単位といった詳細空間単位で整備されている。また、大都市圏を中心として、パーソントリップ調査等の行動や活動に焦点を絞った調査も行われている。このような調査票をベースとして行われる大規模調査は、コスト等の問題より、数年に一度の調査に限定される。

都市計画分野で利用される代表的な情報として、都市計画法第6条に基づき概ね5年に一度実施される都市計画基礎調査がある。さらに、道路情報や建物情報にもとづく地図基盤データが民間企業により、1年間隔程度で継続的に調査されている。また、一部の自治体では、固定資産税等の管理を目的とした、用途、築年数等の建物の詳細調査データを空間データとしてGISにより管理している。

これらのデータの統合により、概ね都市・地域の骨格は把握可能と考えられる。また、過去の数十年単位での蓄積があるため、時系列での整備が可能であり、実際にデータ整備が進捗している。しかしながら、自治体ごとのフォーマットも必ずしも統一されている訳ではなく、

統合的な管理を実現するための調整が課題である。

## (2) 人工衛星・航空機等によるリモートセンシング

地球観測を目的とした複数の人工衛星が運用されており、それらより得られるリモートセンシングデータを解析することで、地形や土地利用等に関する高解像度の基盤データの構築が可能である。時間間隔としては、数日に一度程度の割合で同一地点のセンシングが可能である。具体的には、リモートセンシングによる画像データに対して、各種の補正・解析を行うことで、詳細な解像度(数m単位のオーダー)での、土地利用状況の特定が可能である。例えば、日本においては、数値地図として国土院により衛星画像にもとづく土地利用データが整備されている。戦後より、時系列での観測データが整備・蓄積されており、1960年代初頭より開始された人工衛星LANDSATのデータを活用したColona衛星画像に関する研究が、都市拡大や森林資源管理(森林伐採地区の特定)等に活用される契機となった。これまで、空間解析分野においては、年単位のオーダーでの地形変化、都市域の拡大、および森林・農地等の変化状況の解析に活用されてきた。

なお、航空機による特定地域の集中的なセンシングも可能であり、近年では無人探査機(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)も導入されていることから、網羅性は担保されないものの、ピンポイントのデータが比較的コストで取得可能となっている。

さらに、赤外線等による地表面の熱分布やCO<sub>2</sub>濃度分布の観測も可能であり、近年では、ハイビジョン撮影による衛星動画も取得可能となっている。このことより、リアルタイムかつ網羅的な都市活動のモニタリングへの展開可能性も開けつつある。

## (3) ICTによる都市センシング

近年、情報技術の高度化、センシング装置の普及とネットワーク化を背景として膨大で多様な環境情報の収集・蓄積が進行している。ここでは、このようなICT関連データの特性について考察する。

都市部を中心として、情報ネットワークと接続可能な各種の観測デバイスが設置され、行動データの観測や蓄積が実施されている。ただし、企業等の各種サービス事業主体により管理されているため、一般にアクセスできる訳ではない。また、モニタリングシステムは都心部での実装が多いことが予想されるなど、地域格差が問題となることも考えられる。

また、従来から利用されてきたICTに加えて、ソーシャルメディアが情報発信・収集のための手段として広く普及しつつある。携帯情報端末は、他のデバイスと比較

して、個人との結びつきが強いこと、個人の生活行動等の観測に適している。さらに部分的にはあるが、その関連データを収集・管理するためのツールも用意されており、その利活用に向けた環境整備も進んでいる。

ICTデータの特徴として、データが構造化されていないため、取り扱いが容易ではないことや、定性的なデータが多く、定量的なデータとの統合が必要となる点が課題となる。また、デジタル機器の普及特性上、データを生成する主体の年齢階層等の個人属性が偏っていることが考えられる。したがって、これらのデータを有効活用するためには、基盤データとの統合により、定性的なデータとの相互補完を行うことが重要となる。

## (4) データ整備状況に関するまとめと考察

以上より得られた現在の都市・地域に関する空間データの特徴を以下にまとめる。

- ・リモートセンシング技術の進展により、空間基盤データの整備の高精度化・高頻度化は着実に進んでいるが、それらのデータを統合的に管理するためのスキーム・基盤技術が不足している。

- ・近年、ICTによるセンシングを通じたマイクロデータの生成・流通・蓄積のための環境は急速に整いつつあるが、それらのポテンシャルを最大限引き出すためには、データの持つ地域的もしくは個人属性等に関する偏在性を克服し、基盤データとの統合を実現する必要がある。

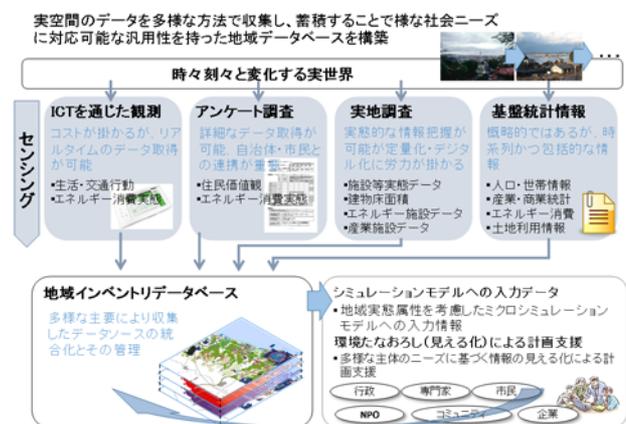


図3 データベースシステムの構築展開イメージ

## 3. GIS データベースの活用・展開方法

ここでは、データを統合することによる現状理解や将来シナリオ構築に向けた活用方法、予測的な行動支援における活用の2つの場合について例を示す。これにより、都市におけるデータの観測・流通・蓄積に関する環境整備の方向性について議論する。なお、都市計画分野においても、地理情報システムなどをベースとした支援システ

ムの活用も近年進展しており、80%近くの自治体において、デジタルデータとして、地理空間データとその操作システムが整備され、事業計画等の立案・検討や庁内の情報共有等に活用されている[5, 6].

### (1) 長期的計画での利活用

#### a) 都市・地域の視覚化・現状把握

複数の異なるデータソースや異時点間のデータを重ね合わせて表現することにより、地域を理解する上での基礎的な情報を得ることができる。図-4に、東北地方の福島県から宮城県にかけての沿岸地帯を対象として地域の未利用エネルギーによる供給ポテンシャルと民生部門のエネルギー需要の情報を自治体単位で集計した結果を示す。自治体ごとのエネルギー需給バランスを把握することが可能となる。これにより、自治体ごとに導入すべき重点的な資策が明らかとなる。例えば、岩沼市や新地町といった沿岸部の自治体は産業未利用熱のエネルギー対策が効果的である、一方、角田市や丸森町といった山間部では、未利用エネルギーの利用は限定的であり、ソーラーパネルやバイオマスといった複合的な対策が効果的であることが分かる。また、集計単位を変更したケースを検討することで、複数の自治体の連携効果についても明らかにすることができる。図-4では新地町と相馬市が連携した場合の効果について示しており、行政区域を超える連携により、個別の都市ごとの利活用を超えた低炭素ポテンシャルが発言することが分かる。

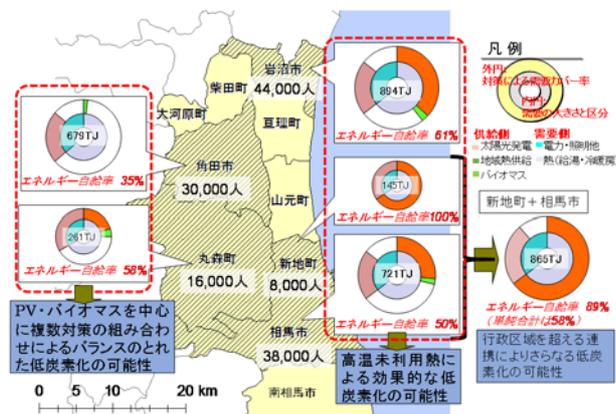


図-4 情報可視化の例

#### b) 将来計画での利活用

データの提示のみではなく、それらを入力情報としたシミュレーションを実施することで、施策の導入効果を検証することが考えられる。さらに、個々の施策効果を複合的に検証することで、複数の施策を組み合わせた将来の地域シナリオの設計と検討が可能となる。

ここでは、土地利用の将来パターンを設定し、エネルギー輸送に伴う、熱損失やインフラ建設コストを考慮した上での、エネルギー適切な空間計画の検討例を示す[7].

図-4にエネルギーパターンの設計例を示す。分析結果からは、エネルギーインフラを設計する上で、空間構造が未利用熱エネルギー導入の可能性を経済的な面から大きく左右する結果となっている。

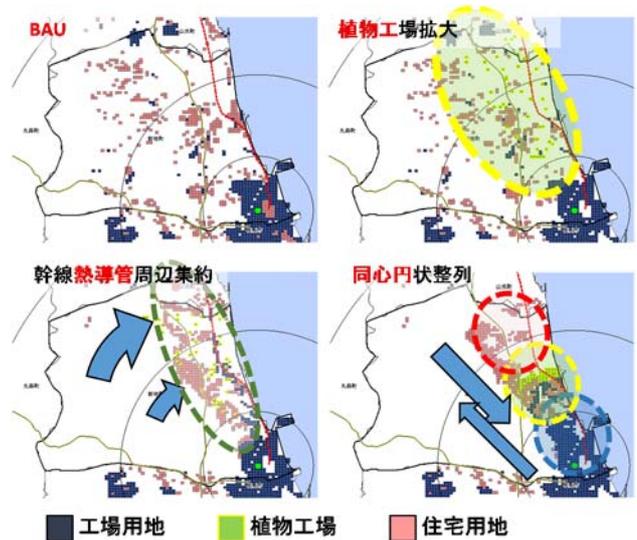


図-5 将来計画検討への展開例

### (2) リアルタイムでの予測的な行動支援

観測・蓄積されたデータやモデルによるシミュレーション結果は長期的なプランニングへ利活用されるのみではなく、実空間に配備されている様々なデバイスを通じてリアルタイムで都市・地域・住宅へとフィードバックされ得る。このことにより、多様なデータを活用した予測的な行動支援が可能となる。

住宅レベルでは、エネルギー需要情報の見える化による省エネ行動の促進や、経済的なインセンティブを付与したデマンド・レスポンスの実証実験等についても着手されている。また、都市レベルでの情報共有の試みとして、既にカーナビゲーションシステムによる渋滞情報のドライバーへのフィードバック等の多様な検討と社会実装が進んでいる。

ここでは、建物レベルへのフィードバックデータに基づく制御可能性について検討する。近年のわが国ではHEMSの公的標準インターフェイス (ECONET Lite) が策定されて、多くの家電装置には数年前より導入されており、スマートメーターの標準化も進められているなど、世界的にも先導している。HEMS 認証支援センターを開設して、相互接続検証の環境整備や、新規参入事業者向けの開発支援キットの開発、安全性を考慮して運用ルール策定支援を始めている。日本の ECONET は米国の SEP2.0 や欧州の KNX と比較してもきめ細やかなサービスを提供が可能であることや、企画書が無償で公開しているなどの特徴を持ち、アジア諸国への展開も進められている。

技術開発段階としては、プラットフォームの構築を終わった段階で、課題として、構築されたプラットフォーム上でのビジネス展開を促進していく制度設計が必要となる。分野の違うスマート・コミュニティの情報が共有された地域全体の仕組みを作ることが重要と考えられ、ICTを活用したネットワーク化が課題となっている。

#### 4. ICTによる地域情報システムの開発

ここでは、福島県・新地町において、取り組んでいるICTを活用した地域情報システム（コミュニティ・ネットワーク・システム）の構築ケースについて解説し、特に地方都市における情報インフラの役割について検討する。コミュニティ・ネットワーク・システムは、タブレット端末と地域情報を集約したサーバー（地域環境ナレッジハブサーバー）およびエネルギー制御システムを連携、活用することで、家庭・業務での省エネルギーを実現するだけでなく、地域福祉の増進や地域交通を円滑化させる社会技術システムとして開発を進めている。なお、社会実装を進めている新地町の特性は、福島県浜通り最北部に位置し、仙台へおよそ1時間、相馬市へおよそ30分という東北の中核都市と近接している。加えて、相馬共同火力発電所や相馬中核工業団地などの産業基盤が集積している。総面積は46.3km<sup>2</sup>、人口およそ8,000人である。

##### (1) システムの概要

コミュニティ・ネットワーク・システムは、主要施設・住宅・公共施設等にタブレット端末を整備してスマートメーターと連動するとともに、エネルギー、健康・福祉及び交通等の地域経済にかかわる情報をネットワーク化し、役所等に設置する地域環境ナレッジハブサーバーと連結することで双方向情報ネットワーク基盤を構築することを目指している（図-6参照）。この基盤を活用し、エネルギー・福祉、経済活動支援等に関連する複合的なサービス情報を共有することで、コミュニケーションが不足しがちな復興段階の住民、役所、NPO、企業間の情報の「絆」の強化を深める。また、開発段階から関係者との連携によるコンテンツづくりを志向し、利用頻度をあげ、相互に発展できるプロセスをデザインしている。

##### (2) コミュニティ・ネットワーク・システムの機能

現在、開発しているシステムの主な機能は以下の3項目である。

##### a) 地域エネルギー行動支援ネットワーク

タブレット端末を用いて各家庭のエネルギーの利用状況を「見える化」することで、節電を促すシステムを開

発する。さらに、双方向通信機能を活用し、需要ピーク時における「節電メッセージ」の送信やそれと連動した地域ポイント等のインセンティブモデルの導入を試行することで、返答情報を提供し、デマンド・レスポンスによるエネルギー需要制御に向けたデータ基盤整備を進める。

##### b) 復興高齢化コミュニティ支援ネットワーク

福祉介護情報の提供、地域内イベント情報の提供、復興まちづくり情報などの地域情報を自治体から発信できる仕組みを実現するとともに、地域サービスへの要望の利用者からの発信やアンケート等による住民選好の反映等が可能となるフィードバック機能を実装する。

##### c) 地域交通支援ネットワーク

ディマンド交通を含めた地域交通にGPS機能・通信機能を搭載することで、公共交通の利便性向上を図るとともに、運行実績情報（位置情報・乗車人数情報等）を地域環境ナレッジハブに蓄積し、データに基づいた利便性向上策を検討する。

#### (3) 蓄積情報の活用と展開

コミュニティ・ネットワーク・システムにより得られた情報は、地域の利便性を維持・向上しつつ、環境負荷削減を達成することが可能となるよう、見える化、デマンド・レスポンス等を通じて各住宅にフィードバックすることを計画している。また、地域環境ナレッジハブに蓄積されたデータを基にした解析結果を復興まちづくり計画や防災計画に積極的に援用することを計画している。具体的には、得られた地域の環境行動を解析し、加えて地域の産業基盤からの熱や廃棄物の有効利用法を検討したうえで、地域エネルギーネットワークを設計し、実装することを目指している。

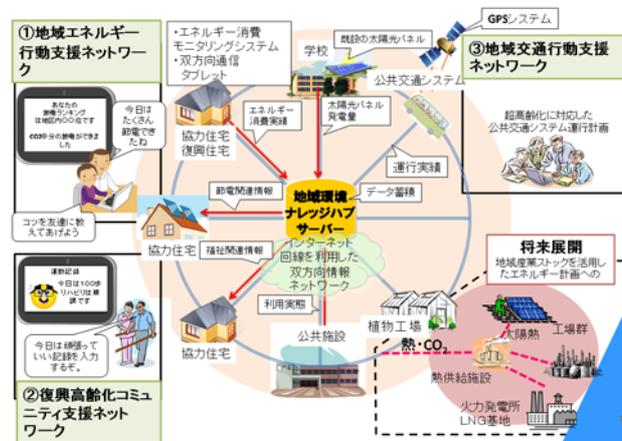


図-6 コミュニティ・ネットワーク・システムのイメージ

## 5. まとめ

本研究では、近年の都市・地域における情報環境（データの観測・収集・蓄積に関するシステム）の変化について整理し、それらの情報ソースから構築される GIS データベースを活用した、地域の計画・マネジメントへの展開方法について、特に、資源・エネルギー循環システム設計の観点から分析した。

その中で、分散的に蓄積されてきた情報ソースを動的に統合する必要があることや、短期的な行動支援情報の提供と、その前提に基づいた長期計画を実演するプロセスの構築が重要となることが明らかとなった。

また、本研究では、データソースと利用環境についてのみ提示したがデータの構造化のレベルに関する議論も重要である。完全に構造化されたデータは拡張性が低下し、反対に完全な非構造データは利用性が低下する。検討の詳細化や範囲の拡大に合わせて、必要に応じて後からデータと機能を拡張できるデータベースシステム設計が課題である。

謝辞：本研究は、環境省・環境研究総合推進費（1E-1105, 2-1404 および 2RF-1303）の支援により実施された。

## 参考文献

1. 総務省, 平成 25 年度 情報通信白書. 2013. (2014. 4. 25 受付)
2. Hilbert, M. and P. Lopez, *The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information*. Science, 2011. **332**(6025): p. 60-65.
3. Hilbert, M. and P. Lopez, *How to Measure the World's Technological Capacity to Communicate, Store, and Compute Information Part I: Results and Scope*. International Journal of Communication, 2012. **6**: p. 956-979.
4. Hilbert, M. and P. Lopez, *How to Measure the World's Technological Capacity to Communicate, Store, and Compute Information Part II: Measurement Unit and Conclusions*. International Journal of Communication, 2012. **6**: p. 936-955.
5. 阪田知彦 and 寺木彰浩, *基礎自治体での都市計画基礎調査の実施状況と課題* 都市計画報告集, 2009. **No.8**.
6. 阪田知彦 and 寺木彰浩, *速報:2009 年 2 月時点での地方公共団体の都市計画分野における空間データの整備状況* 都市計画報告集, 2009. **No.8**.
7. 戸川卓哉, et al., *長期的な土地利用シナリオを考慮した地域エネルギー資源活用策の評価手法* 土木学会論文集 G (環境), 2013. **69**(6): p. II\_401-II\_412.

## DEVELOPMENT OF INTEGRATED GIS DATABASE AND ITS APPLICATION TO DESIGN OF ENERGY-MATERIAL CIRCULATION SYSTEM

Takuya TOGAWA, Tsuyoshi FUJITA, Minoru FUJII, Satoshi OHNISHI and Yujiro HIRANO