

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06635

研究課題名(和文) 骨材サプライチェーンの全体最適化を目指したクラウド管理システムの構築

研究課題名(英文) Construction of cloud management system aiming at optimization of aggregate supply chain as a whole.

研究代表者

大塚 尚寛 (Otsuka, Naohiro)

岩手大学・理工学部・教授

研究者番号：40133904

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、これまで“地産地消”が基本であった骨材の生産供給体制を広域的な視点から見直した。骨材の需給関係を全体最適化するための骨材サプライチェーンの確立では、骨材の生産供給側と消費需要側の両面から、現状および将来的な需給量を推定できる予測式を導出した。また、IoTの活用により、骨材の需給関係を全体最適化するための骨材サプライチェーンを一元的に管理できるGISを利用したクラウド管理システムの設計と構築を行った。このシステムを利用することにより、骨材の広域的な最適輸送をシミュレーションでき、輸送者に最適経路を提示するとともに、複数の輸送者をリアルタイムで同時に管理することが可能になった。

研究成果の概要(英文)： We reviewed the production and supply system of aggregate which was basically "local production of local consumption" so far from a wide-area perspective. Establishment of the aggregate supply chain to optimize the aggregate supply-demand relationship as a whole, we derive a prediction formula that can estimate the current and future supply and demand from both the aggregate production and supply side and the consumption demand side. By using "Internet of Things", we also constructed a cloud management system using GIS that can centrally manage the aggregate supply chain to optimize the aggregate supply-demand relationship as a whole. By using this system, it is possible to simulate the wide optimum transport of aggregate, to present the optimum route to the transporter and to manage multiple transporters simultaneously in real time.

研究分野：資源開発

キーワード：骨材 IoT サプライチェーン クラウド管理 全体最適化 骨材輸送

1. 研究開始当初の背景

わが国では、少子・高齢化、人口減少社会の到来に伴い、今後、建設用原材料である骨材の需給関係の地域間格差が、大都市部と地方などで大きく進むことが想定される。すなわち、大都市部では骨材需要の減少は進むものの一定の需要は見込めるが、原石資源の枯渇化により、都市部近郊での採石場の操業が困難となる。一方、地方部では原石資源は豊富にあるが、骨材需要の大幅な減少により、骨材生産企業の存続が困難になることが予想される。そのため、骨材業が“地産地消”産業として成り立つことが困難になると予想される近い将来には、骨材輸送の最適化を広域的に考えていく必要があると考えられる。一方、IT（情報技術）を活用して、製品の原料調達から生産調整・物流・在庫管理までのサプライチェーンを一元的に管理するシステムの導入が、製造業を中心に進んでいる。また、インターネットの著しい普及によって、コンピュータによる処理やデータの格納をネットワーク経由でサービスとして利用するクラウドコンピューティングが急速に進展している。

2. 研究の目的

本研究では、1. で述べたような将来予測を前提として、これまで“地産地消”が基本であった骨材の生産供給体制を広域的な視点から見直し、需給関係を全体最適化するための骨材サプライチェーンの確立と、それをインターネットの利用により一元的に管理できるクラウド管理システムを構築することを目的とする。骨材の需給関係を全体最適化するための骨材サプライチェーンの確立では、骨材の生産供給側と消費需要側の両面から、現状および将来的な需給量を推定できるシステムの開発と、骨材の広域的な最適輸送をシミュレーションできるシステムの開発を行う。また、GISを利用したクラウド管理システムの構築では、GISクラウドを利用した骨材の需要と供給の一元管理、余剰在庫の削減など適正な生産体制の整備、都道府県を越えた情報の共有化、エンドユーザのモバイル端末からのアクセス等を可能にするシステムの開発を行う。

3. 研究の方法

研究の方法は、(1)骨材の生産供給側と消費需要側の両面から、現状および将来的な需給量を推定できるシステムの開発、(2)骨材の広域的な最適輸送をシミュレーションできるシステムの開発、(3)骨材の広域サプライチェーン最適化を可能にするGISを利用したクラウド管理システムの構築に大別される。

(1)骨材の生産供給側と消費需要側の両面から、現状および将来的な需給量を推定できるシステムの開発

骨材の生産側からみた現状および将来的な供給量を推定する方法として、筆者が先に開発した「GISを利用した骨材資源ポテンシャル評価システム」の研究成果を発展させた。

(2)骨材の広域的な最適輸送をシミュレーション

できるシステムの開発

骨材の広域的な最適輸送をシミュレーションする方法としては、筆者が先に開発した「碎石運搬過程におけるCO₂排出量削減のための最適輸送シミュレーションシステム」の研究成果を改良・発展させた。

(3)骨材の広域サプライチェーン最適化を可能にするGISを利用したクラウド管理システムの構築

骨材需給関係の全体最適化のためには、インターネットを介したクラウドコンピューティングによる情報の共有化が不可欠である。そこで、クラウド管理システムのメインサーバーにGISクラウドを利用した。メインサーバーには、(1)、(2)の研究で骨材資源に関するあらゆるデータを入力してあるので、Google Earthや各種のITアプリとリンクして活用できるシステムとした。

4. 研究成果

(1)骨材の将来的な需給量を推定できるシステムの開発

①骨材資源データベースの構築

図1に、本研究で構築をしたGISを利用した骨材資源データベースの構成を示す。

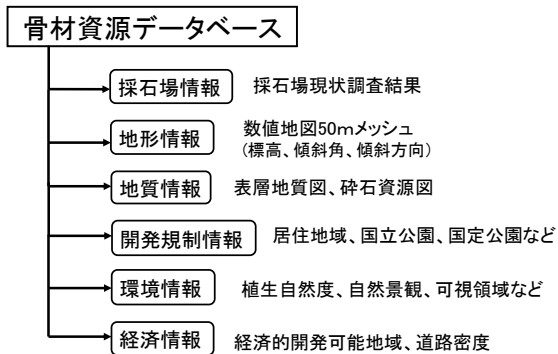


図1 GISを利用した骨材資源データベース

(ア)既存の採石場の位置、用途別生産量、製品出荷先等の情報を、採石場情報としてデータベース化した。

(イ)素因となる情報群と新たに生成された情報群を整備していく枠組みとして、データベースを地質、地形、開発規制、環境、経済の5つのサブシステムとして構築した。

(ウ)地質情報サブシステムでは、表層地質図や地質柱状図等を用いて、骨材に適用できる原石量の推定を行った。

(エ)地形情報サブシステムでは、国土地理院発行の標高データ等を用いて、原石賦存量を3次元的に算出した。

(オ)開発規制情報サブシステムでは、市街地、農地、工業用地等の土地利用図や、森林法、自然公園法等の規制区域図を利用して、開発規制区域の抽出を行った。

(カ)経済情報サブシステムでは、開発可能地域の設定を行い、現状および将来的な人口、需要量、交通量、輸送コスト等の社会的な条件を加味した。

(キ) 5つのサブシステムをGIS上で有機的に結合させることで、将来的な開発可能地域や可採資源量が推定できるシステムとした。
 (ク) 既存インフラ、人口動態、地域面積等を、GISを用いてデータベース化し、骨材需要の将来予測をマッピングできる機能も付加した。

②骨材需要量の将来予測式の導出

骨材サプライチェーンの最適化を行う際、生産段階において、生産量を決定する指標に骨材の需要量の将来予測量を使用する。また、骨材の輸送先の選定においても、各地域の今後の骨材需要量が予測できれば、よりの確な選定を行うことが可能になると考えられる。年度ごとの骨材需要量は、経済産業省や日本砕石協会から公表されているが、それらの将来予測は行われていない。そこで本研究では、骨材の需要量の将来予測を行った。

骨材需要量が社会的・経済的な影響に左右されることは、過去の研究において言及されている。具体的にどの要素が骨材需要量と深い関係を持つかを探るため、該当すると予測される社会的・経済的情報を収集した。さらに、骨材需要量と社会的・経済的情報との関係を精査して、都道府県別に各年度の骨材生産量と、人口、面積、人口密度、世帯数、GDP、県民1人当たりのGDP、道路延長、道路面積、建設工事費等との関係を調べて、相関関係を調べた。

図2に、骨材需要量と各要素との関係を調べた一例として、平成22年度の都道府県別の人口と骨材需要量との関係を示す。図のように人口と骨材需要量との間には、正の相関が認められ決定係数 $R^2=0.4695$ と高い値であることがわかる。

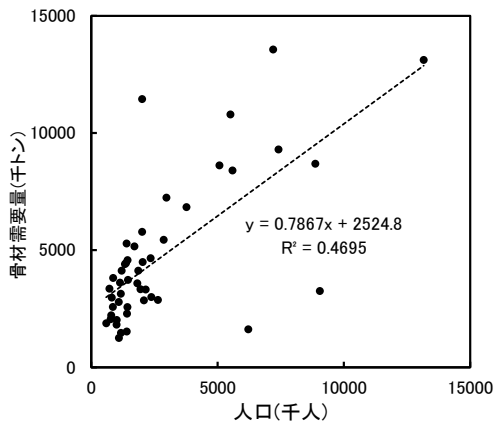


図2 都道府県別の人口と骨材需要量との関係

表1に、上述のようにして求めた骨材需要量と社会的・経済的指標との決定係数一覧表を示す。表中の最下段は、分母にデータが得られた年の度数、分子に決定係数0.4以上の比較的高い相関が得られた年の度数を示している。この分数が大きく度数が高い因子として、人口、世帯数、建設工事費を抽出した。抽出された因子を説明変数とし、骨材需要量を目的変数として、多変量解析(重回帰分析)を行い、

表1 骨材需要量と諸指標との決定係数一覧

	人口 (千人)	面積 (km ²)	人口密度 (人/km ²)	世帯数	GDP (億円)	1人当たりのGDP (円/人)	道路延長 (km)	道路面積 (km ²)	建設工事費 (百万円)
昭和55年度	0.289	0.030	0.129	0.253	0.232	0.237	-	-	0.269
昭和56年度	0.356	-	-	-	0.252	0.167	-	-	0.303
昭和57年度	0.567	-	-	-	0.418	0.247	-	-	0.563
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
平成24年度	0.453	0.091	0.228	-	0.311	0.047	0.310	0.255	0.458
相対頻度	30/33	0/11	0/11	6/7	12/33	0/33	0/4	0/4	23/33

骨材需要量の将来予測式(1)を導出した。

$$Y = 8.94X_1 - 2.28X_2 - 0.571X_3 \quad (1)$$

$(R^2=0.997)$

ここで、Y：砕石需要量(千ton)

X₁：人口(千人)

X₂：世帯数

X₃：建設工事費(億円)

R²：決定係数

図3は、(1)式を用いて求めた骨材需要量の推移と実際の骨材需要量の推移を比較したものである。図をみると、(1)式で算出された骨材需要量と実際の骨材需要量の推移がよく一致していることがわかる。バブル経済崩壊後の1990年から2010年までは減少の一途にあった骨材需要量が、2015年には増加に転じたのは、2011年の東日本大震災による復興需要によるものと推測される。ただし、予測式の課題点となるのが、因子としての寄与率が最も大きい建設工事費の将来予測が不可能であるという点である。説明変数である人口、世帯数の将来予測値は、各省庁等から公表されている。しかし、建設工事費については、その性質上、その時々々の社会情勢、経済情勢、政府の政策等に大きく左右されるため予測が難しく、将来予測値が公表されていない。

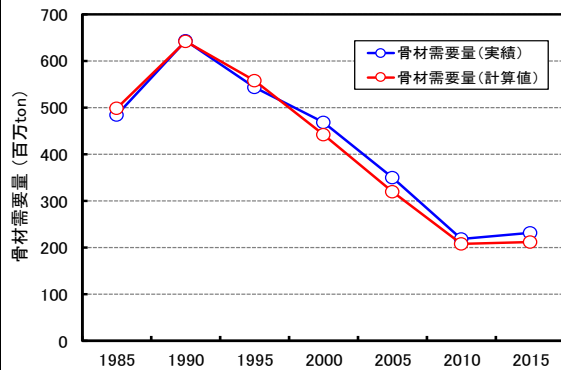


図3 骨材需要量の実績値と計算値との比較

(2)骨材の広域的な最適輸送をシミュレーションできるシステムの開発

①骨材輸送管理システムの設計

骨材輸送時の最適輸送経路を輸送者に提示し、かつリアルタイムで複数の輸送者を同時に管理できるシステムの設計を行った。システムに必要とした条件は、次の通りである。

- (ア) 最適経路の算出の仕方は先行研究で確立されているが、それは地理情報システムの ArcGIS を使うことが前提である。したがって、骨材輸送管理システムを作るにあたり、ArcGIS で導出した最適経路を使用することを条件とした。
- (イ) 算出した最適経路を輸送者のスマートフォンやタブレット端末で閲覧できる必要がある。その際、閲覧者の現在位置も最適経路と同時に確認できるものとする。
- (ウ) 管理者側が同時多数の輸送者の位置情報をリアルタイムに把握できる必要がある。
- (エ) 構築するシステムは、安価であること。
- 以上の条件を満たすシステムを設計した。

図4に、骨材輸送管理システムのイメージを示す。条件を満たすシステムを構築するには、次のような課題があった。

- (ア) パソコン上の ArcGIS で算出した最適経路をどのように輸送者のスマートフォンに表示させるか。
- (イ) 最適経路が表示されているマップに同時に輸送者のリアルタイム位置情報も表示させるにはどうすればよいか。
- (ウ) リアルタイム位置情報を取得するためには GPS を用いる必要があるが、輸送者ごとに GPS を持たせれば、コストがかかってしまう可能性がある。

これらの問題点に留意しながらシステム開発を検討するに当たり、幾つかの構想を立て、その中から最善なものを選択した。

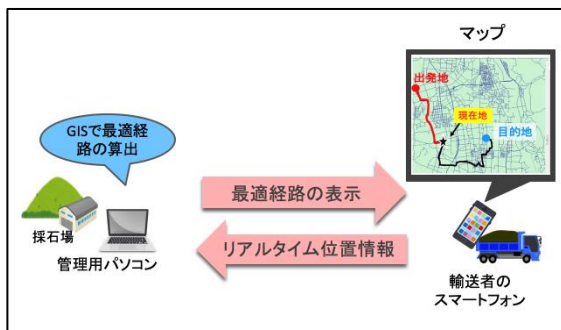


図4 骨材輸送管理システムのイメージ

図5に、上記の問題点をクリアした GoogleMAP を用いたシステムのイメージを示す。GoogleMAP の機能には、arcGIS で算出した経路を GoogleMAP と合成できる機能がある。さらに、GoogleMAP は、作成したマップを GoogleMAP 経由で第三者が閲覧できるようにする機能を有している。この機能を用いて、arcGIS で導出した最適経路を GoogleMAP 上に合成し、それを輸送者のスマートフォンやタブレットから閲覧できる。この時、合成マップ上には自身の現在位置も表示されるため、最適経路のナビゲーションとしても使用できる。さらに、GoogleMAP には、使用しているスマートフォンの現在位置を第三者の GoogleMAP に表示させる機能がある。この機能は、共有設定にしたユーザーの現在位置を、1つのマップで同時に複数人表示さ

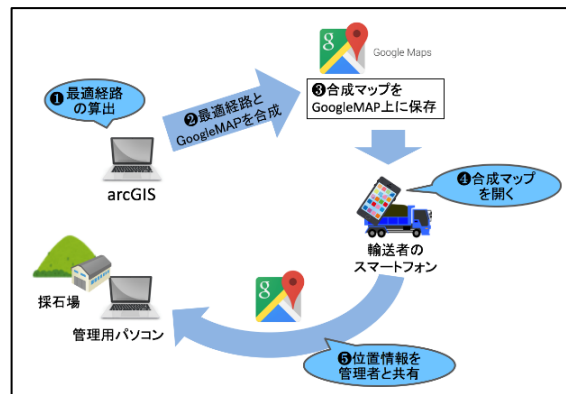


図5 GoogleMAP を利用した骨材輸送管理システム

せることができる。この機能を用いて、管理者が輸送者のリアルタイムでの位置情報を把握可能になる。位置情報の取得には、スマートフォンの内臓 GPS を用いることから、新たに GPS を購入する必要はない。また、GoogleMAP のこれらの機能は全て無料で使用可能なため、安価なシステムを構築するという条件を満たすことができる。

以上のことから、GoogleMAP のこれらの機能を用いて必要な条件を満たした骨材輸送管理システムが構想できた。

②骨材輸送管理システムの構築

GoogleMAP を使用した骨材輸送管理システムは、次の通りである。

- (ア) まず、arcGIS で最適経路を算出し、経路のデータの入っているレイヤを、arcGIS 上で拡張子「.kml」に変換し保存する。
- (イ) その後、GoogleMAP の「マイプレイス」機能を用いて GoogleMAP のマップ上に最適経路のデータレイヤを合成させる。
- (ウ) 合成したマップは GoogleMAP 内に保存し、URL を知っている人間は誰でも閲覧可能な状態に設定する。
- (エ) 続いて、スマートフォンやタブレットから GoogleMAP にログインし、保存された合成マップを、専用 URL を用いて開く。こ

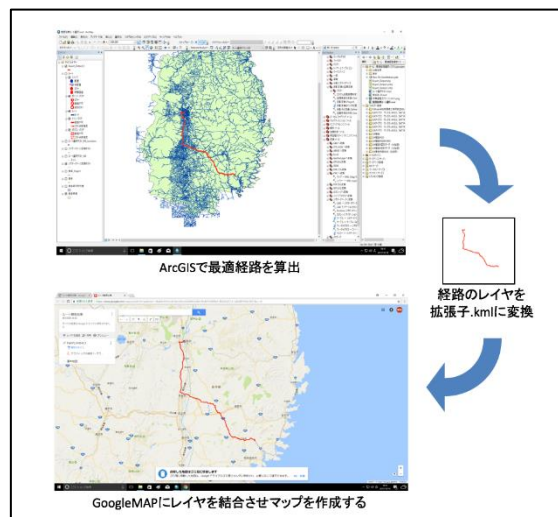


図6 arcGIS のデータと GoogleMAP の合成例

の時 GoogleMAP には、arcGIS で算出した最適経路とともに、閲覧しているデバイスの現在位置も表示されている。

(オ)さらに、「タイムライン」機能によって自身が移動した経路をトラッキングし表示させることができる。

図6に、arcGIS のデータと GoogleMAP の合成例を示す。

これらの機能を利用して、図7のように、輸送者に対し目的地ごとに最適な輸送経路を配信し、管理者は全ての経路を表示させた結合マップの元で全輸送者のリアルタイムでの輸送状況を視認できるようになった。

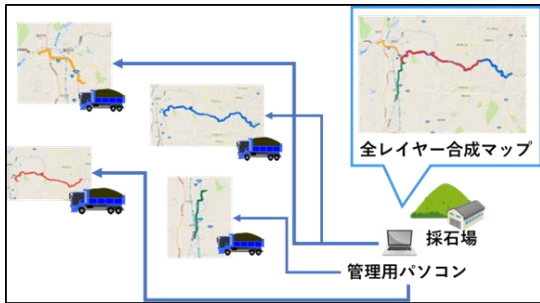


図7 最適輸送経路の表示例

③骨材輸送管理システムの現地実証実験

arcGIS と Googlemap を利用したリアルタイムでのクラウド管理システムが、実際に採石場において運用可能かを実証するために、現地での検証実験を行った。

実験場所 : 岩手県内の K 採石場
 実験日時 : 2017年11月14日
 実験協力者 : 砕石運送会社の5名
 使用機器 : システム管理用 PC 台
 タブレット端末1台
 スマートフォン5台

採石場から砕石を輸送するダンプトラックの運転手5名の協力のもと実験を行った。今回の実験では輸送先が4箇所あるため、それぞれの経路ごとに arcGIS で最適経路を作成した。さらに、管理者用の PC では、1つの画面で同時にすべての輸送トラックの位置情報を確認する必要があるため、管理者の PC 用に、4つすべての経路を合成したマップを作成した。作成したマップを、GoogleMAP 経由で各運転手のスマートフォンに表示させることに成功した。次に、GoogleMAP の「現在地の共有」機能を用いて輸送者のモバイル端末の現在位置を管理者用の PC に表示させた。

図8は、管理者用 PC 表示画面を示したものの

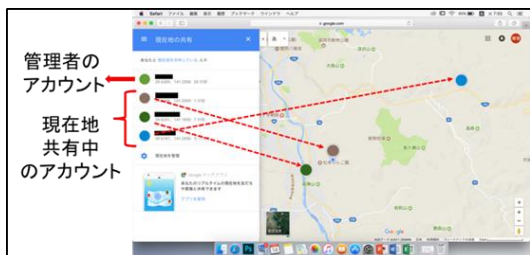


図8 現在位置共有中の管理者用 PC 表示画面

である。画面には管理者用のアカウントの他に、現在地を共有中のアカウントが表示される。今回はスマートフォン5台を対象に行ったが、内2台が古いタイプのスマートフォンで現在地共有設定を行えなかったため、3台のみが表示されている。

次に、管理用パソコンに表示された輸送者の位置が、リアルタイムで変化するかどうかの確認を行った。

図9に、時間経過で見る画面表示の変化を示す。図のように時間経過に従って、画面情報を記録した。位置情報共有者が移動すると、現在位置の表示も実際の位置に合わせ変化していることがわかる。しかし、位置情報の更新の読み込みが遅いと実際の位置情報と表示される位置情報で多少の誤差が見られる場合があった。

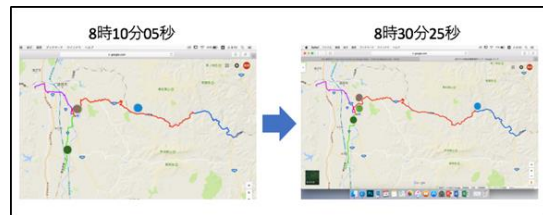


図9 時間経過に伴う現在位置表示の変化

図10に、運転手のスマートフォンのマップ画像を示す。輸送中の運転手のスマートフォンの GoogleMAP 上には、arcGIS で算出した最適経路が赤い線で表示され、同時に自身の現在位置が青い点で表示されている。また、実際に通った経路の履歴が青い線としてマップに表示されることで、ナビゲーションとしての機能を果たしている。しかし、この経路履歴の精度は、スマートフォンの受信圏外では精度が落ちる。例えば、図10においては、ダンプトラックが実際に移動した経路は赤い線の最適経路であったが、経路履歴は多少ずれてしまっている箇所が見取れる。ずれが生じた場所では、スマートフォンの電波の受信状態が比較的悪かったと推測できる。また、これらの機能へモバイル端末から直接アクセス可能であるという条件を満たしているか確認した結果、GoogleMAP を開くことで任意の操作が常時可能であることが確認できた。

図10 運転者のスマートフォンの画面

(3)GIS を利用したクラウド管理システムの構築

(1)、(2)で開発したそれぞれのシステムを統合して、GISを利用したクラウド上で管理するシステムを検討した。GISを利用した管理用クラウドとしては、AWS (Amazon Elastic Compute Cloud) を使用した。AWSを選定した理由として、次の4点がある。

- (ア)セキュリティの高いストレージである3Sを使用していること。
- (イ)ビッグデータの解析に適したデータウェアハウス Redshift を使用していること。
- (ウ)料金体制が従量課金制であるため、必要な時に必要な分だけ利用できること。
- (エ)データセンターを日本に3つ置くため、通信の遅延が少ないこと。

図11に、AWSをクラウドに置き、骨材サプライチェーン最適化システムの各コンセプトをクラウド上で管理するイメージ図を示す。AWS上に骨材データベースやGIS、GoogleMAPなどの各ITアプリを格納し、4.(1)①、②で述べた地域ごとの骨材需要量の将来予測を行い、輸送先の選定を行う。次、4.(2)②で述べた方法により輸送先までの最適経路を算出して、GoogleMAP上で閲覧可能にする。また、輸送者に最適経路を提示し、最適経路の基で輸送を行う。そして、AWSにより、輸送中の状況をクラウド上で管理し、それらを管理者や輸送者自身がリアルタイムで確認できるようにする。

以上のように、骨材サプライチェーン最適化システムの具体的な運用方法を構築した。

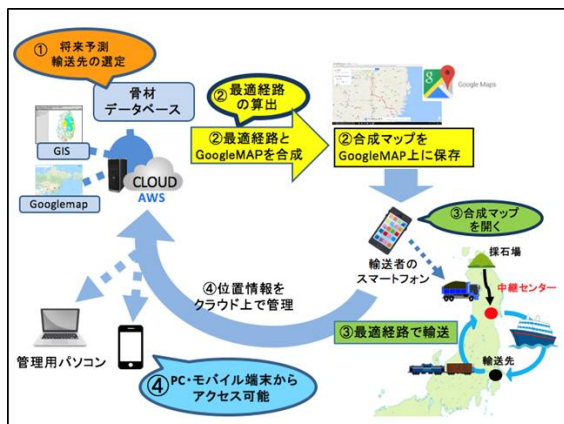


図11 骨材サプライチェーン最適化システムのクラウド上での運用のイメージ図

(4) 研究成果のまとめ

本研究では、骨材の生産・供給体制にサプライチェーンの概念を導入し、IoTの活用により、骨材の需給関係を全体最適化するための骨材サプライチェーンを一元的に管理できるシステムの構築について検討した。得られた結果をまとめると、次の通りである。

- ①IoTの活用により、骨材の需給関係を全体最適化するための骨材サプライチェーンを一元的に管理できるシステムの構築をした。
- ②これまでの統計データを精査することにより、骨材需要量と相関関係にある社会的・経済的要因として、人口、世帯数、建設工事

費の3因子を抽出し、重回帰分析により骨材需要量の将来予測式を導出した。

- ③骨材輸送時の最適輸送経路を輸送者に提示し、かつリアルタイムで複数の輸送者を同時に管理できるシステムを、Google Mapとスマートフォンを利用して構築した。
- ④骨材サプライチェーン最適化システムをGISを利用したクラウド上で管理できる体系を構築した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

- ①大塚尚寛、齊藤 貢：IoTを活用した骨材輸送管理システムの構築に関する検討、砕石の研究、33巻、p.27-37、2018(査読無)
- ②大塚尚寛、齊藤 貢：持続可能な骨材生産を目指した省力・低環境負荷型露天採掘システムの統合と連携、骨材資源、49巻、193号、p.1-9、2017(査読有)
- ③大塚尚寛、及川碧瑠、齊藤 貢：IoT対応型骨材サプライチェーンシステム構築に関する検討、砕石の研究、32巻、p.15-21、2017(査読無)
- ④大塚尚寛、齊藤 貢：東日本大震災前後における東北地方の砕石生産状況の変化、骨材資源、47巻、188号、p.195-203、2016(査読有)
- ⑤及川碧瑠・鈴木 茜、大塚尚寛・齊藤 貢：骨材需給量の現状把握と将来予測、砕石の研究、31巻、p.10-15、2016(査読無)

〔学会発表〕(計6件)

- ①及川碧瑠、大塚尚寛、齊藤 貢、今井忠男：IoTを活用した骨材輸送管理システムの構築に関する検討、資源・素材学会平成30年度春季大会、2018.3.27、東京大学
- ②アイグリ・サツタル、大塚尚寛、齊藤 貢：ITを活用した露天採掘場周辺の生態系可視化システムの検討、資源・素材学会平成28年度春季大会、2017.3.27、千葉工業大学
- ③及川碧瑠、大塚尚寛、齊藤 貢：IoTを活用した骨材サプライチェーンシステム構築に関する検討、資源・素材学会平成28年度春季大会、2017.3.27、千葉工業大学
- ④大塚尚寛、及川碧瑠、齊藤 貢：IoT対応型骨材サプライチェーンシステム構築に関する検討、資源・素材学会平成26年度春季大会、2016(盛岡)、2016.9.15、岩手大学
- ⑤及川碧瑠、大塚尚寛、齊藤 貢：骨材需給量の現状把握と将来予測、資源・素材学会平成28年度春季大会、2016.3.28、東京大学
- ⑥大塚尚寛：東日本大震災前後における東北地方の砕石生産状況の変化、砕石フォーラム2015(盛岡)、2015.10.16、ホテルメトロポリタン盛岡

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
大塚 尚寛 (OTSUKA, Naohiro)
岩手大学・理工学部・教授
研究者番号：40133904