

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 4 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630238

研究課題名(和文)クラウドソーシング技術を駆使した迅速・安価なグローバル現地計測手法の体系化

研究課題名(英文)Speedy and economical infrastructure monitoring method using crowdsourcing technology

研究代表者

関本 義秀 (Sekimoto, Yoshihide)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：60356087

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、現地の人々にスマートフォンアプリケーションを用いて道路状態のデータ収集を依頼することを目的とし、商用クラウドソーシングサイトであるFreelancerを利用する場合と現地にハブパーソンを設けて依頼する場合とで比較を行うとともに、収集したGPSや加速度データから道路の路面状態や時間帯別走行速度について分析を行った。とくにハブパーソンを用いた手法では、1か月半の短期間で述べ約7800km、実リンクベースで約800kmの走行データを取得することができ、ダッカ都市圏の道路総延長が約2140kmに対して約38%のカバー率であり、迅速安価かつ質が担保されたデータ収集が可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：Recently, infrastructure monitoring in developing countries is not enough, though it becomes very important based on the development of social capital. In this study, we asked to collect road state data, especially road bump and hourly traffic link speed from GPS and acceleration data, for the person in developing countries by smartphones using crowdsourcing technology, such as outsourcing market place "Freelancer" and utilization of hub person in these countries. Finally, we collected approximately total 7,800km namely actual link based 800km driving data in short periods such as 1 month and a half based on the hub person method. This length means about 38% coverage toward 2,140km as a total road length in Dhaka metropolitan urban area. This result shows the possibility of collection of infrastructure monitoring data with their quality in short periods.

研究分野：空間情報学

キーワード：クラウドソーシング 空間情報 現地計測 途上国 グローバル インフラモニタリング

1. 研究開始当初の背景

近年、国際社会が直面する途上国の貧困問題の解決には、貧困層に配慮した持続可能な経済成長が必要とされている。その実現のためには、国や地方などの各コミュニティレベルで必要とされる社会資本を、それらの発展段階に応じて、バランスよく整備・維持管理することが求められている。とくに途上国の社会インフラ施設の維持管理においては、適切な点検や診断に基づいた効果的な対策を行うことや、社会的な関心を高めることが重要であり、各社会インフラ施設の寿命や更新時期を延ばし、イニシャルコストとランニングコストを合わせたライフサイクルコストを削減するという観点からもインフラモニタリングは重要である。

その一方で、近年の情報技術の進展により様々な人々が協力し合って、迅速・安価にデータ作成・加工等の作業を行うクラウドソーシングと呼ばれる技術が広まりつつある(2006年にアメリカのWired誌にJeff Howeが寄稿した際にクラウドソーシングと命名したり)。無償系のクラウドソーシングとしては例えばWikipediaが代表的であるが、地図の分野ではOpenStreetMapなども有名であり、2005年以降、約190万人のマップャーにより40億ノード以上が整備されている。これはまさに、述べてきたような途上国のような財政状況に適したアプローチであり、例えば、世界銀行は、幅広い災害や気候変動のためのオープンデータ作成と普及の土台を作ることを目的としたOpen Data for Resilience Initiative (ODRI) を打ち出し²⁾、アジア工科大学の学生などに協力を依頼して、南アジアのダッカ、カトマンズ等、主要都市の建物利用や都市計画などのデータを収集し、オープンデータとして公開するOpen Cities Project³⁾を行っている。

しかし、ODRIのケースは一時的なイベントの色彩が強く、日常的にビジネス的な色彩も持ちつつクラウドソーシングを通じて現地のインフラモニタリングを行っていかうとすると、まだまだ現状では困難な点が多い。ビジネス化という観点でみると、近年では、有償系のクラウドソーシングについてもAmazon Mechanical Turks⁴⁾、FreeLancer⁵⁾、oDesk(現:Upwork)等、いわゆるWeb上で仕事をマッチングするグローバルな企業も急速に増えているもののコンピュータで完結するデータ処理、プログラミング等がほとんどである。

そうした背景の中で筆者らは杉森ら(2012)⁶⁾の研究では、クラウドソーシングサービスであるFreelancerを利用して、アジアの数都市でスマートフォンを用いた調査を依頼し、人の移動軌跡データの収集を試みた。しかし、完遂した委託業務はほとんどなく、有ってもデータの複製や多くの欠損等が見られ、有効なデータ数が少ないという結果になっている。これはクラウドソーシング技術は顔の見えない不特定多数の人に業務を依頼するため、複雑で継続的な委託業務を完遂してもらうのが困難であり、とくに現地調査のようなものは受注者の仕事の質が担保しにくいという点に起因していると言える。

こうした課題を克服するためには、現地における人的ネットワーク、コミュニティも組み込んでいく必要がある。これについては、2006年にノーベル平和賞を受賞したムハマド・ユヌスによるマイクロクレジットに端を発するBOP(Base Of Pyramid)ビジネス⁷⁾のように、途上国における貧困層がコミュニティのキーパ

ーソンを通じてビジネス参加を目指すというアプローチがある。

2. 研究の目的

そこで本研究では、途上国のインフラモニタリングを迅速・安価に行うために、有償系のクラウドソーシング手法を対象に、遂行可能なタスクのレベル、依頼の手法やインセンティブのセットの仕方をデザインし、実際に途上国を中心に、スマートフォンを用いて、道路の凹凸や混雑状況を計測するタスクを設定し、低コストかつ迅速に広域をカバーする手法を提案し実験を行った。具体的には、まずスマートフォンのアプリケーションを用いて道路状況を計測する手法を述べるとともに、商用クラウドソーシングサイトを用いてタスクを実施する人を募集する手法と、現地コミュニティのキーパーソン(以下、ハブパーソンと呼ぶ)をベースに依頼する手法を述べる。さらに収集実験結果を述べ、収集したデータを評価し、最後に結論をまとめる。

3. 研究の方法

(1) 道路の凹凸状態のデータ収集手法

近年、スマートフォンが世界中で普及し、標準搭載されているGPSチップや加速度計などの性能も上がっている。しかし、それぞれのスマートフォンが所有している位置情報の利用には、専用のアプリケーションが必要となる。本調査では、クラウドソーシングを前提とする以上、インフラデータに関して、専門家によりじっくり高精度に計測するというより、やや簡便的だが多くの回数計測することを要件とする。そのためスマートフォンの位置と加速度に対して、計測・アップロード・サーバー処理・描画等、一連の処理により、道路の凹凸状態を手軽に精度よく観測でき、日本国内において延べ60万km以上の道路の段差を収集・蓄積しているバンプレコーダー株式会社の無償スマートフォンアプリケーションBump Recorder App¹³⁾を利用し、Android OSを搭載したスマートフォンにインストールすることで調査を行った。

具体的には図-1のようなアプリケーションをインストールし、自動車のダッシュボード上などバネ上の位置に置いて走行することで、スマートフォンのGPSと加速度計から加速度を得る。そして、その加速度を基に、自動的にサスペンションのバネやダンパの特性などの車両特性を推定し、タイヤの軸の位置であるバネ下の上下動を推定することで、道路の平坦性、とくに1986年に世界銀行で提案されたIRI(International Roughness Index)を算出する。この処理によって、違う車種や違う走行速度でも安定した結果を得ることが出来るようになっており、従来の加速度データを基にした同様のシステムに比べて、信頼性が高いシステムとなっている。そして、Bump Recorder Appで収集したデータをバンプレコーダー株式会社が持つサーバーにアップロードすることで、サーバーが自動的に詳細な統計化処理を施した解析を行い、Bump Recorder Web(<http://map.bumprecorder.com/>)というWebサイトでより精度の高いデータを見ることが出来る(図-2)。



図-1 Bump Recorder AppにおけるIRI計測画面
(バンプレコーダー株式会社HPより)

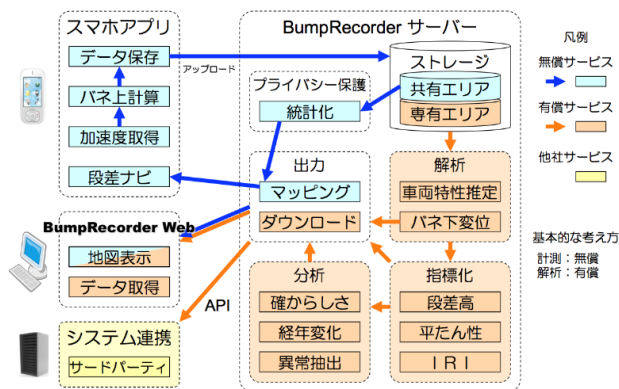


図-2 Bump Recorder 社におけるデータ処理
(バンプレコーダー株式会社HPより)

実際に2014年9月に筆者らがカトマンズにおいて行った現地調査の結果では、図-3のように、中心部の維持された未舗装の道路のIRIは6~10の値を示し、周辺部の整備されていない未舗装の道路のIRIは10以上の高い値を示しているのに対し、JICAがバクタプル地区周辺で整備したハイウェイ路線のIRIは2~4の低い値を示しており、Bump Recorder Appで収集した道路の凹凸状態のデータと、実際の道路の凹凸状態との整合性を確認することが出来た。

(2) クラウドソーシングサービスによるデータ収集の依頼
海外での調査は、現地との行き来をする手間とコストが大きな負担となる。また、言語や生活習慣が異なることに起因して、調査員のマネジメントに困難を生じることも多い。そこで本研究では、Webサイトを活用したクラウドソーシングサービスを用いた調査に着目し、多くの国から応募者を集めることができ、様々な仕事を発注出来るFreelancer (<https://www.freelancer.com/>)を採用した。ここは、2004年よりオーストラリアの会社が運営しており、約1300万人のユーザを抱えて、約640万件のプロジェクトを扱っている。

具体的には、プロジェクトの投稿フォームから、仕

事のカテゴリー、必要なスキル、予算などの必要な情報を入力することで、プロジェクトを投稿することが出来る。その後、投稿されたプロジェクトはFreelancer上に掲載され(図-4)、そのプロジェクトに興味を持ったユーザが入札出来るようになる。発注者は、入札者の入札額、スキル、過去の作業実績を考慮し、その中から最適な入札者を受注者として選択し、プロジェクトを依頼することが出来る。そして、その依頼が承認されれば、発注者と受注者との間で契約が成立し、プロジェクト完了後に発注者が受注者に対して報酬を支払い、プロジェクトが完了するという流れになっており、この手続きに従ってデータ収集調査のプロジェクト投稿を行った。

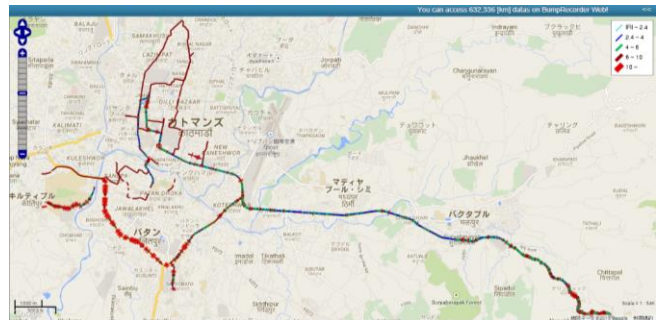


図-3 カトマンズにおける道路の凹凸状態の現地調査結果

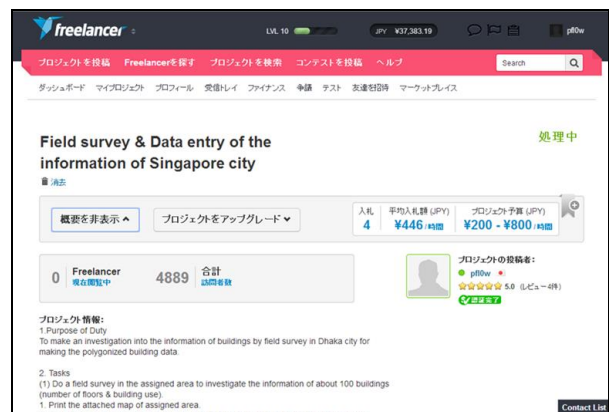


図-4 freelancerにおける現地調査募集の画面

(3) ハブパーソンを設けたデータ収集の依頼
クラウドソーシングサービスを用いた途上国のデータ収集調査は、従来の調査に比べて迅速かつ安価に調査を行うことが出来る一方で、途上国の登録者数が少なかったり、報酬の決済にクレジットカードを必須とされることもあるため、調査を完遂することが難しい場合がある。そのため、本調査では、マイクロクレジットなどでもよく用いられる、ハブパーソンを設けたデータ収集調査を並行して行った。

具体的には、バングラデシュ工科大学 (Bangladesh University of Engineering and Technology, 以下、BUET) の教授と、レンタカー事業を行っている株式会社の代表取締役がハブパーソンを依頼し、現地調査を依頼する人々とのハブになって頂いた。つまり、ハブパーソンの方々にデータ収集調査の詳細な内容を伝達した。その後、ハブパーソンの方々からBUETの学生や、レンタカー会社の運転手にデータ収集調査の協

力を依頼し、興味を持った人々にデータ収集調査を依頼した。そして、依頼したデータ収集が完了した後、報酬を支払うという流れで調査を行った。

4. 研究成果

4-1. インフラモニタリングのデータ収集結果

(1) クラウドソーシングサービスによるデータ収集結果

Bump Recorder Appによる道路の凹凸状態のデータ収集作業の入札は、アジアの5都市（ダッカ、カトマンズ、マニラ、シンガポール、ヤンゴン）で2014年の6月～8月にかけて1回ずつ行った後、ダッカとカトマンズの2都市でのみ2回目を行った。それぞれの入札の状況を表-1に示す。1回目の公募では、ダッカとカトマンズの2都市で、入札者の中から受注者を決定し、契約が成立したが、いずれも受注者との連絡が途絶え、作業が完了しなかった。また、2回目の公募では、ダッカでは入札者の中から適切な受注者が見つからず、契約が成立しなかったが、カトマンズでは入札者の中から受注者を決定することで契約が成立し、約35kmの道路の凹凸状態のデータを計測する作業も完了した。

以上のように、7回の公募を行ったにも関わらず、入札者と契約が成立し、作業が完遂したのは1件のみであった。一般のクラウドソーシングの依頼作業がWebサイトやソフトウェア作成、画像処理等、デジタルで完結することが多いことに比べると、本研究が対象とする現地計測のような作業は依然、複雑だと思われがちなことに加え、報酬の支払いとしてクレジットカード決済ができることや実験のためにAndroidのスマートフォンと乗用車の両方をもっていなければならないという厳しい制約条件が入札者に対して高いハードルになったと考えられる。

(2) ハブパーソンを設けたデータ収集結果

次に2名のハブパーソンを設けた実験では、道路の総延長が約2,140kmであるダッカ都市圏（以下、DMA）を対象に行うこととした。具体的には1か月半の間にDMA内の道路、のべ10,000kmの凹凸状態や速度のデータを収集することを目標とし、報酬を1kmあたり100円強とし、2名のハブパーソンが募集した所、それぞれ5名ずつがデータ収集を行った（表-2）。その結果、約50日間という期間内に目標の10,000kmのデータ収集を達成することは出来なかったが、コンスタントに計測が行われ、結果としては図-5のようにDMA内ののべ7,824.3kmの道路の凹凸状態の大規模なデータを合計金額約150万円程度の比較的安価な費用で収集することができた。これは実延長ベースだと807.4km、総延長の37.7%であり、かなりの割合が短期間でカバーできたと言える。

表-2 ダッカで行ったハブパーソンによる実験条件

依頼内容	
期間	2014/12/03~2015/01/21
目標	ダッカ都市圏の10,000kmのデータ収集
報酬	レンタカー会社：1kmにつき 80BDT（120円） 大学：1kmにつき100BDT（150円）

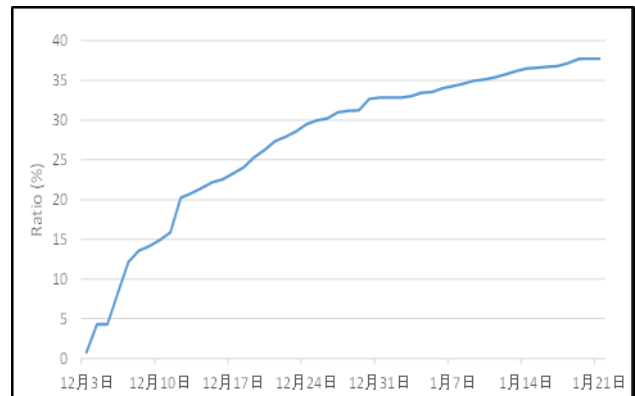


図-5 DMAにおける道路リンク計測範囲のカバー率（2014年12月3日～2015年1月21日まで）

(3) 追加報酬の設定

(2)の実験に加えて、データ収集の少ない時間帯や道路リンクの収集を促進することを目的とし、実験後半の2015年1月10日から約10日間ほどデータ収集の少ない時間帯や道路リンクのデータ収集に対して金銭的インセンティブの付与も行った。具体的には、時間的に、インセンティブ付与前は、7時から19時台に計測開始されたデータが全体の約8割を占めていたため、それ以外の計測開始時刻が20時台から6時台を、また空間的には、2015年1月9日時点で計測のない道路リンクを示し未計測箇所へのデータ収集について、どちらについても20%の追加報酬を与えた。

図-6が最終的にDMA内で計測できた道路ネットワークであり、青は追加報酬設定前取得できたもの、赤は追加報酬設定後に取得が行えたものである。図-5のグラフで見られるように追加報酬設定で急速に未計測地域のデータ収集が行われたわけではなかったものの、今まで計測のなかった狹隘道路のデータ収集が行われた点は確認できた。データ収集の受注者からは、追加報酬がデータ収集に対するインセンティブになったという意見もあり、今後はインセンティブ付与の条件を変化させることで、効果を最大化する適切なインセンティブ付与を構築することも期待される。

表-1 クラウドソーシングサイトを用いた依頼結果（2014年に行ったもの）

対象都市	ダッカ	カトマンズ	マニラ	シンガポール	ヤンゴン	ダッカ (2回目)	カトマンズ (2回目)
入札開始日	6/30	7/4	7/4	7/4	7/4	8/13	8/13
サイト訪問者数	3522	392	843	159	90	916	1482
入札者数	2	1	1	0	0	3	4
落札額	¥2500	¥3000	¥2400	-	-	-	¥1110
平均入札額	¥3750	¥3000	¥2400	-	-	¥1407	¥8394
作業状況	未完了	未完了	-	-	-	未完了	完了

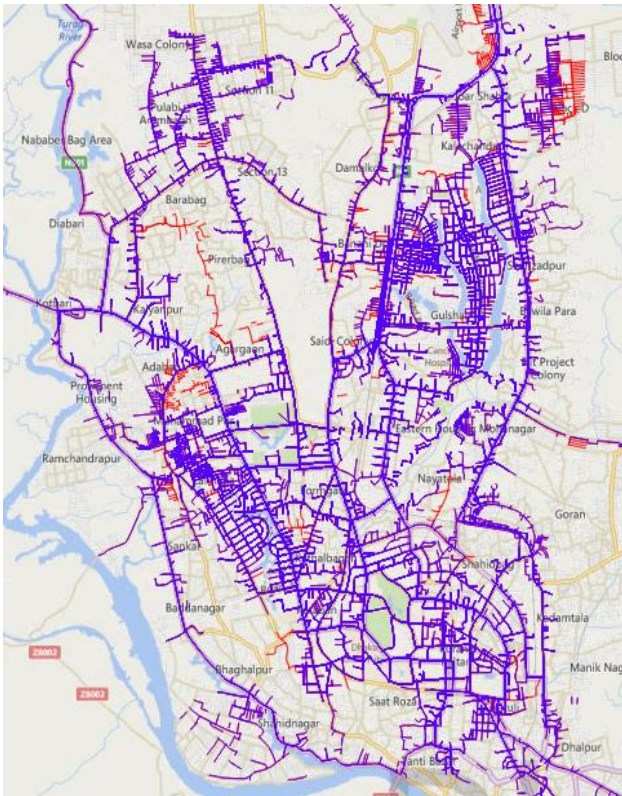


図-6 DMA内で最終的に計測できた道路リンク（青は2015年1月9日までに計測した箇所、赤は1月9日以降に追加報酬を設定して計測できた箇所）

4-2. 取得データの評価

(1) 道路のIRI値の評価

取得した加速度データから算出したIRI値について道路リンクごとに平均と標準偏差を算出を行い分析した。実際には1つの道路リンクを何回も加速度を計測しIRI値を計算することになるので、まずは実験期間中の計測数を算出したところ、表3のようになった。すなわち幅員が5m未満の道路については1リンクあたり約41回、5~10mの道路については約35回、10m以上については、221回であり、広い道路の方が圧倒的に計測されている回数が多いと言える。また、IRI値の平均、標準偏差については、逆に広い道路の方が平均値が高く平坦ではないという事を意味し、また、標準偏差も大きい。おそらくこれはIRIを車両の振動をタイヤから起因する加速度計で計っているため、幅員が大きいほど道路の中央から路側まで平坦度合いのばらつきが生じる可能性が高いのではないかと考えられる。

さらに、加速度応答が弱い場合、スマホの加速度センサーのレンジ幅を超えてしまい、計測された加速度が飽和してしまう。レンジ幅は、加速度センサーの出力に対して、正負で同じ値が限界値となるが、計測値は重力加速度分だけシフトしており、片側のみオーバーレンジしやすい。このとき、平均値がずれてしまい、積分すると上下速度や上下変位量が大きくずれてしまう可能性もある。

また、IRI値をマッピングしたものが図7であるが、ダッカ市内の北部の国際空港から南部の市街地に抜ける南北のメイン通りが中心に整備されており実際にIRI値も一番低いエリアとなっている。逆に郊外の広い道路未整備のせいでIRIが高く、悪い値となっている。また、それ以外の細路路はやや悪いという状況になっている。

表-3 道路種別毎のIRI計測回数と値の状況道路幅員

	計測された道路リンク数	IRIの計測回数	平均 (mm/m)	標準偏差 (mm/m)
5m未満	705	29,062	6.50	3.96
5m~10m	1,786	63,237	6.89	4.29
10m以上	1,501	331,997	7.47	5.74
計	3,992	424,296	7.04	4.72

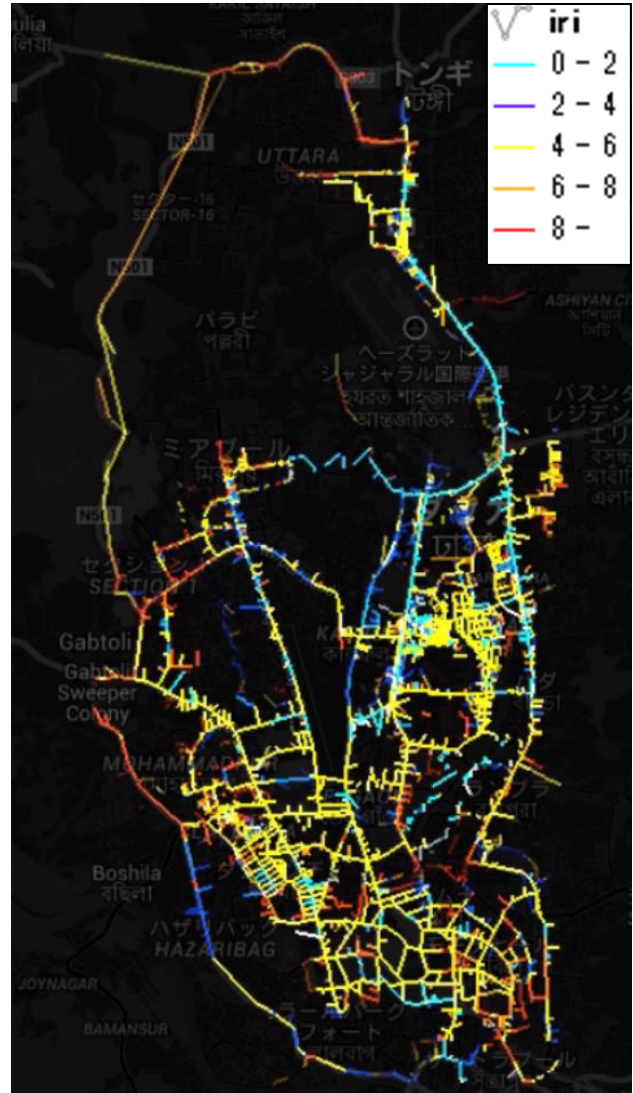


図-7 期間中に計測した平均IRI値

(2) 自動車の走行速度の評価

IRI値だけでなく、スマートフォンのGPSセンサーから自動車の走行速度のデータを同時に収集することが出来る。本研究では、このデータを一般的な自動車の走行速度のデータと比較することで、シミュレータなどで使う走行速度の設定に関する精度向上に寄与する可能性について検討した。

実際図8は、幅員が5~10m、10m以上の道路リンクに対する走行速度である。細い道路については、朝の通勤時間帯は広い道路に比べるとかなり遅く混んでいるように思える。

一方で、昼間の時間帯は太い道路の方がかなり混んでいて遅いように見える。また、時間帯別の走行速度については、かなりの違いがある点は共通する点であり、実態値をつかむ重要性が感じられる。

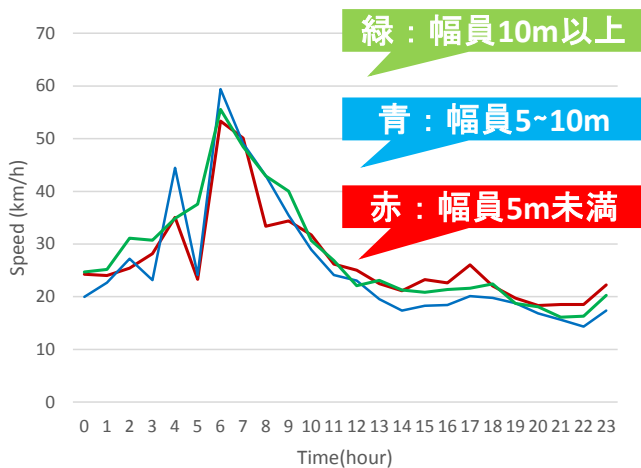


図-8 道路種別ごとの時間帯別平均リンク速度

4-3. まとめ

本研究では、クラウドソーシング技術を用いた迅速かつ安価な途上国のインフラモニタリングのデータ収集手法を提案し、建物の利用状況と道路の凹凸状態の2つのインフラモニタリングデータを対象として、クラウドソーシングサービスであるFreelancerを用いた方法とハブパーソンを設けた方法の2つの手法でデータ収集を行った。

クラウドソーシングサービスをを用いたデータ収集手法の有効性という意味では、本研究では全世界から応募者を募ることができ、広範な仕事を依頼することが出来るという観点で採用したFreelancerでアジアにおける5都市で入札を行うことができたが、国ごとに登録者数が異なることで契約の成立しやすさにも違いが生じたと考えられる。また、道路状態のデータ収集のタスクについて、訪問者数や入札者数が少なく、作業が完遂しにくかったのは、Android OSのスマートフォンを保持していることと車を運転することという厳しい制約条件が応募者に加わったためだと考えられ、タスクを小分けにして制約条件を緩和する必要があることがわかった。これはクラウドソーシングサービスが、オンライン上で完結する業務を委託することを想定したプラットフォームであるということも影響を与えた要因として考えられる。

次にハブパーソンを設けたデータ収集手法の有効性としてはダッカで実証実験を行い、大学教授とレンタカー会社社長にハブパーソンを依頼し、ダッカ都市圏の約7,800kmの道路の凹凸や時間帯別のリンク速度のデータを収集することが出来た。これは人づてで依頼ができるため、遂行は確実に進行しやすいものの、ハブパーソンから知人や友人に作業の協力を依頼し、興味を持った人々に作業を依頼するという流れになるため、クラウドソーシングサービスに比べて、作業を広く周知することが難しく、作業を依頼する人の年齢や職業などの属性情報から近いやすいデメリットもある。そのため、年齢や職業などの属性情報の異なる複数の人にハブパーソンを依頼したり、作業を広く周知しやすいクラウドソーシングサ

ービスやホームページなどを用いた手法と併用したりすることで、作業をより広く周知することが出来ると考えられる。

いずれにしても、1か月半という短い期間と一般の政府事業に比べて150万円程度という、安価な予算で7,800kmをカバーできたのは大きい成果である。また、インセンティブについても今回は後半の一定期間に20%追加するのみであったが、今後色々な付与の仕方も考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計1件)

瀬戸寿一：クラウドソーシングとフィールドワークに基づく農山漁村の地理空間情報の共有，農村計画学会誌, Vol.33, pp.42-45, 2014.06.

〔学会発表〕 (計3件)

木下裕介，関本義秀：クラウドソーシング技術を活用した迅速かつ安価な途上国のインフラモニタリング，第23回地理情報システム学会，Vol.23, 2014.11.

金杉洋，樫山武浩，関本義秀，柴崎亮介：大規模な人々の流動データセット整備へ向けた基盤技術の検討，地理情報システム学会講演論文集, Vol.23, 2014.11.

金杉洋，関本義秀，河口信夫，柴崎亮介，杉田暁：クラウドソーシング型時刻表と鉄道路線形状を用いた鉄道移動の推定，地理情報システム学会講演論文集, Vol.24, 2015.10.

〔図書〕 (計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等：<http://sekilab.iis.u-tokyo.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関本 義秀 (SEKIMOTO YOSHIHIDE)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：60356087

(2) 研究分担者

金杉 洋 (KANASUGI HIROSHI)

東京大学・地球観測データ統融合連携研究機構・特任研究員

研究者番号：00526907

(3) 研究分担者

瀬戸 寿一 (SETO TOSHIKAZU)

東京大学・空間情報科学研究センター・特任助教

研究者番号：80454502