

受益者負担原則による道路管理 —携帯電話人口統計を用いた時空間分析—

一井直人*・鈴木勉**・大澤義明**

Road management based on the beneficiary assessment principle - temporal spatial analysis using mobile phone population statistics -

Naoto ICHII*, Tsutomu SUZUKI**, Yoshiaki OHSAWA**

In recent years, many roads in Japan have become insufficiently maintained and managed due to unplanned road construction. On the other hand, mobile phone population statistics is superior to conventional statistical indicators such as Population Census of Japan in that it accumulates data in real time and with high accuracy, and it is expected to be introduced into urban planning from now on, but it is still in its infancy. In this study, we consider the road management based on the beneficiary assessment principle by analyzing road users by time and attribute using mobile phone population statistics in the southern region of Ibaraki Prefecture, and refer to the ideal way of public road infrastructure maintenance and management planning.

Keywords: 受益者負担 (beneficiary assessment principle), 携帯電話人口統計データ (mobile phone population statistics), 時空間分析 (temporal spatial analysis), インフラ維持管理 (Maintenance and management of infrastructure), アイチソン距離 (Aitchison's distance)

1. はじめに

1.1. 研究の背景

多くの都市計画において、人口データが用いられており、その大半が国勢調査の夜間人口データである。一方で国勢調査は2020年の調査で100年目を迎えており、都市化度が回収率に影響を与えることや費用の大きさの問題がヒアリング調査や先行研究により懸念されている[1].

また、近年交通系ICカードの乗降車履歴や、ポイントカード、レジのPOSデータの購買履歴などのリアルタイムビックデータの活用が広がっている。人口データにおいても同様であり、**携帯電話人口統計データ**の活用が広がっている。本研究で扱うNTTドコモモバイル空間統計もその一種である。本データは、通常の交通量調査では得ることのできない利用者属性のデータが得られる点や、24時間365日にわたる時間帯のデータが利用できる点において優位であり、COVID-19の世界的流行によっても人流ビックデータの活用はさらなる脚光を浴びている。今後

の利活用が進んでいくことが予想され、本研究においてもその利点を活用している[2].

近年の道路**インフラ維持管理**に関しては、2014年4月の社会資本整備審議会道路分科会における「道路の老朽化対策の本格的実施に関する提言」において、道路インフラは「今後適切な投資を行い、修繕を行わなくては、近い将来大きな負担が生じる」と警告がなされている[3]. 事実2032年に3月には約65%の道路橋が建設後50年を迎え、道路インフラ老朽化の問題が深刻化している[4]. 一方でインフラ維持管理の維持管理・更新費用を含む日本の公共事業費は2014年以降約6兆円で推移しており、1997年度の9.8兆円に対して62%の低水準にとどまるなど、公共インフラへの投資額は限られており、メンテナンスの手間や費用を減らす観点から、様々な維持管理手法が考案され、利用実態と維持管理のポイントを抑えた検討が推進されている[5].

1.2. 研究の目的

本研究では、組成データにおける三角グラフ上で

* 学生会員 筑波大学大学院サービス工学学位プログラム (University of Tsukuba)
〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 E-mail : s2120499@s.tsukuba.ac.jp

** 正会員 筑波大学社会工学域 (University of Tsukuba)

のアイチソン距離を用いて、道路インフラの需要と供給の合致度を吟味することによって、人口減少社会において喫緊の課題とされている、道路インフラ管理計画の提言を行うことを目的としている。

また、土地利用と交通は密接な関係がある。例えば大型商業施設が配置されていれば、その前の交通量は大型商業施設の利用者に依存したものになっていく。本研究では、メッシュデータで分析を行うことにより、そのような道路周辺環境を考慮した分析を行うことも目的としている。

対象地域は表 1 に示す茨城県南部としている。選択した理由は 3 つある。第一に、東京近郊であり、開発が進んでいる地区がある一方で、人口減少・高齢化が進んでいる地区もあり、都会と田舎のどちらの性質も有し、横展開に優れていること。第二に、一般財団法人自動車検査登録協会「わが国の自動車動向」によると、2020 年における茨城県の 1 人当たりの自家用車保有台数は 0.68 台で全国 3 位と高く、自動車による移動が活発であること[6]。第三に、筆者の所属する筑波大学からのアクセスが良く、実地での調査が可能であること、多くの知見を有していることをあげる。

2. 基本分析

2.1. モバイル空間統計

本研究で使用している NTT ドコモモバイル空間統計は NTT ドコモの基地局データから 1 時間ごとのメッシュ内人口推計を推計したデータである。24 時間 365 日日本全国のデータが存在する点や、性別や年齢、居住地の属性が付随している点、調査をせずとも過去のデータが安心、安全に得られるという点が国勢調査人口データや交通量調査カウンターと比べて優位な点としてあげられる。

また推計人口では人口が時間で按分される（例えば、1 つのメッシュに 15 分いたら 0.25 人と換算される）点や通過交通も推計される点の特徴として挙げられる。表 1 に本研究で使用したデータの詳細を示す。

本研究では 4 次メッシュデータを用いている。4 次メッシュには様々な種別（市道・県道・国道）の

道路が含まれており、1 つの道路種別に着目した分析はポイントデータ型の人口統計を用いた場合よりも難しくなる。しかしながら、メッシュデータを用いることによって、道路維持管理と密接に関与している土地利用の影響等も考慮した管理主体を導きだせること、道路種別延長やその割合によって道路種別ごとの分析は可能であることからメッシュデータを用いた。また、4 次メッシュを選定した理由としては、4 次メッシュよりもメッシュを小さくすると、個人情報保護のための秘匿量が大きくなってしまふこと、メッシュを大きくすると精緻な測定ができなくなってしまうことがある。2019 年 4 月 12 日（金）を選定した理由としては、第一に、COVID-19 流行前の人流を用いること。第二に、新学期開始直後であり人流の動きが 1 年のうち最も基本的で安定している時期であることをあげる。また、道路データに関しては ESRI ジャパン、スターターパック 2021、公共地図を用いた。これは、国土交通省国土政策局、数値地図の情報を 2020 年 4 月に取得しているものである。

表 1 使用データ概要

対象期間	2019年4月12日（金）
対象範囲	茨城県の6市 つくば市、つくばみらい市、常総市、土浦市、守谷市、取手市
モバイル空間統計データ概要	人口統計4次メッシュデータ ・居住地属性なし、総数データ ・都道府県別居住地属性付きデータ ・市区町村別居住地属性付きデータ
道路データ概要	ESRIジャパン、スターターパック2021、公共地図（2020年、国土交通省国土政策局、数値地図）

2.2. 道路延長と人流

まずは道路延長と人口の規模感を確認していく。

図 1 は対象範囲におけるメッシュごとの道路延長、図 2、図 3 はモバイル空間統計の対象日、それぞれ 2 時、14 時の総人口を示したものである。道路延長は時間によって不変のものであるが、総人口は時間によって変化していく。また、道路延長は国道周辺が長くなっていることがわかる。モバイル空間統計の人口も国道周辺の人口が多い傾向を示しているが、つくば市や土浦市には夜間から昼間にかけて人口が

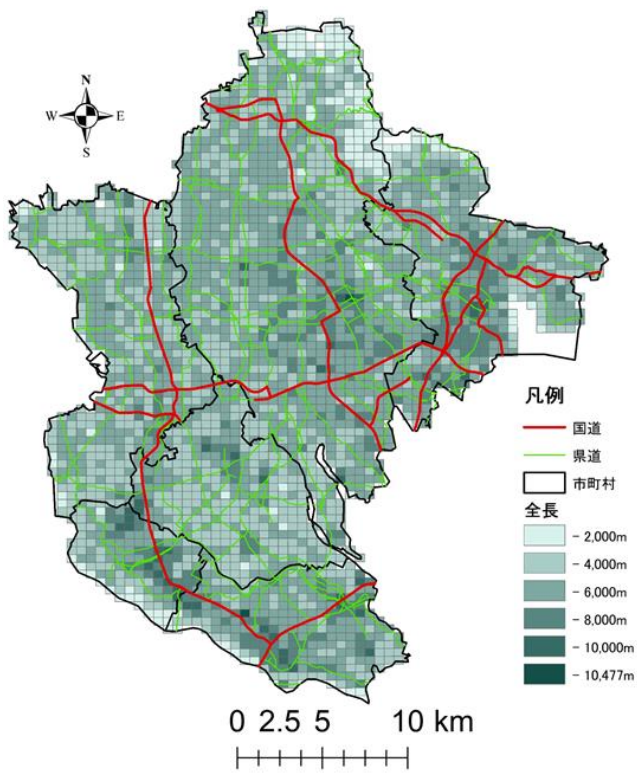


図 1 メッシュごとの道路延長

集中している地区があることがわかる。このようなメッシュは道路不足の可能性を吟味する必要がある。逆につくばみらい市や守谷市、取手市は人口が減少している地区がある。このようなメッシュにおいては道路の過剰供給の可能性を吟味しなくてはならない。さらに、2 時の人口はそのメッシュに滞在している人、居住している人をデータとして捉えている可能性が高いが、14 時の人口は移動中の人出を多く捉えている可能性もあり、同じ人口統計でも質の違いが生じており、人口属性ごとに分析するなどの吟味が必要である。このように、特に人口の流動が大きい地域では、道路インフラの需要と供給のバランスが適正であるか検証が必要である。

2.3. 道路延長と人流との関係

図 4 の散布図は茨城県つくば市における全道路延長と対象日におけるモバイル空間統計の深夜 2 時の人口、昼間 14 時の人口をそれぞれプロットしたものである。道路延長が増えれば増えるほど、人口が多くなることが理想である[7]。それぞれの相関係数を見てみると、0.46 と 0.33 となっている。順位相関

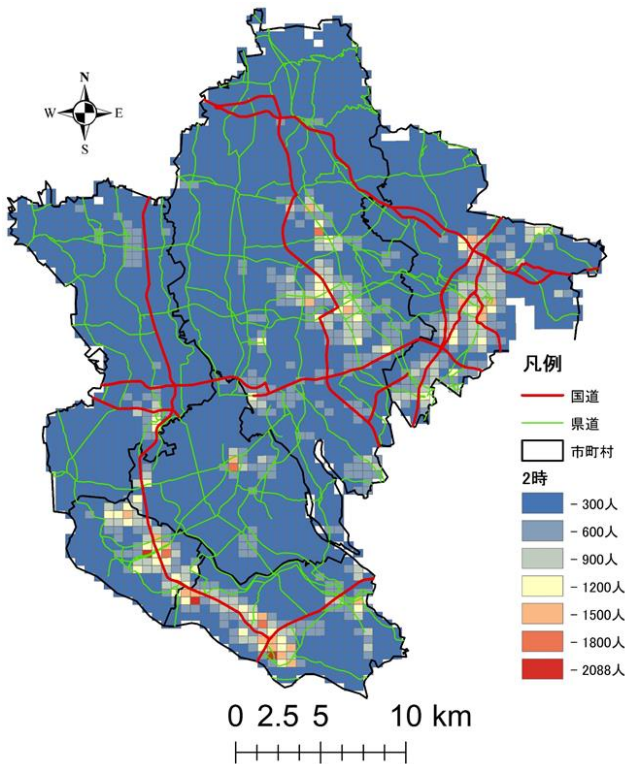


図 2 モバイル空間統計 2 時の総人口

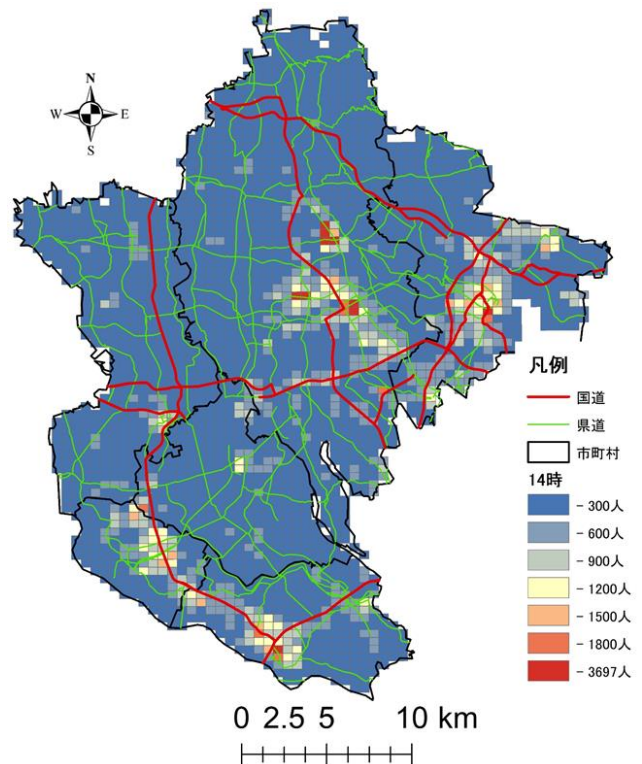


図 3 モバイル空間統計 14 時の人口

係数は0.51と0.49である。つまり、深夜帯となる2時においては**受益者負担原則**にそった整備がある程度されていると考えられるが、昼間帯においてはそれには劣ることが読み取れる。また、それぞれの点に着目してみると、夜間人口よりも昼間人口の方が圧倒的に多い部分が見受けられ、逆に夜間人口の方が圧倒的に多い部分は見受けられない。このことから、国勢調査のような夜間人口で道路維持管理をするよりも、昼間人口によって道路維持管理を行うことにより、利用実態に沿った道路管理ができると考えられる。

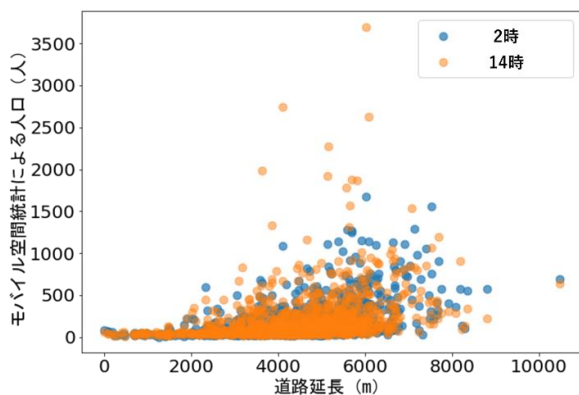


図 4 つくば市における道路延長と人口の関係

2.4. 道路種別と利用者属性

道路維持管理には利用人数と道路量のみだけではなく、利用者実態と道路の種別にも着目しなくてはならない。特に**受益者負担原則**から、受益者と納税者が一致することが求められる。例えば、県が管轄する県道であるのに、利用者属性を分析すると、市民しか使っていない状況であれば、管理主体を考え直す必要性が出てくるだろう。あるいはその逆で市の管轄する市道であるのに市民以外の人たちが多く利用している場面でも同様である。

表 2 は茨城県つくば市における県道を代表的に選出し、対象日 14 時の、その県道が通っているメッシュの人口を合計し、居住地属性割合求めたものである。表 2 を見ると、県道 55 号（東大通）と県道 24 号（平塚線）のつくば市民、つくば市民以外の茨城県民、それ以外の住民の利用者割合はつくば市の県道全体平均とさほど差はないが、県道 45 号（つくば真岡線）の旧道に関しては、平均より大幅につくば市民の割合が多いことが見て取れる。この場合は県

道としての整備ではなく、市道としての整備を行うことが**受益者負担原則**により、提言することができる。

表 2 つくば市における県道利用者割合

	つくば市民	つくば市民以外の茨城県民	それ以外
県道全体平均	60%	29%	11%
県道 55 号	62%	22%	16%
県道 24 号	62%	28%	11%
県道 45 号 (旧道)	75%	16%	9%

3. 受益者負担原則による道路管理者

3.1. 三角グラフ

この章では、メッシュごとに利用者属性割合を算出することで実際の道路網と**受益者負担原則**による理想の道路網の齟齬を時空間的に計測していく。

分析には岩石科学組成データ等でよく用いられる三角グラフとその三角グラフで定義されるアイチソン距離を用いる[8]。なお、今回対象にしたメッシュは、対象範囲のメッシュのうち、総人口と総道路延長がともに 0 ではないメッシュを対象としている。

図 5 は現状の道路延長から対象のメッシュにおいて、メッシュごとに市道・県道・国道の割合を算出し、三角グラフにプロットしたものとなっている。市道の割合が多いほど、市道の頂点方向に、県道の割合が多いほど、県道の頂点方向に、国道の割合が多いほど、国道の頂点方向に点がプロットされる。点のプロットを見ると、市道の頂点方向に点が集中し、対象範囲における道路割合のうち、市道がその大半

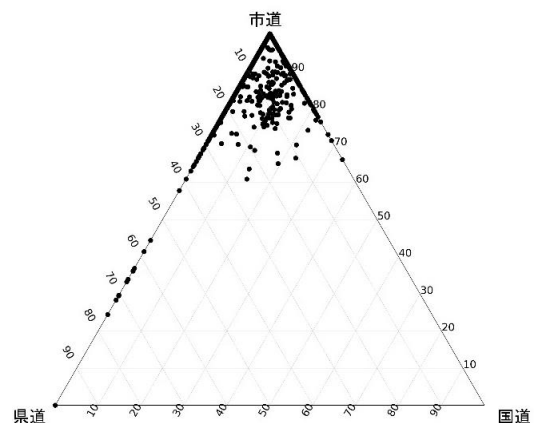


図 5 道路種別による三角グラフ

を占めていることがわかる。図6はモバイル空間統計の対象日時の14時における、市民、市民を除いた茨城県民、その他の住民の割合をメッシュごとに算出し、プロットしたものである。なお、市境のメッシュにおける市民の定義は市境に接する両方の自治体の市民とした。

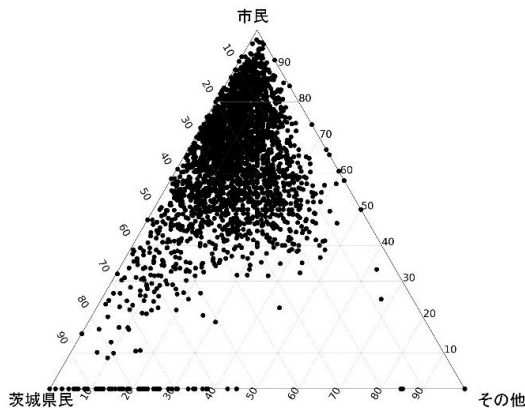


図6 人口属性割合による三角グラフ

3.2. アイチソン距離

受益者負担原則に基づく、同じメッシュ間での三角グラフ内のプロット位置に齟齬ができるだけ生じないことが望まれる。この齟齬を計測するものとして組成データ間の類似度を表すアイチソン距離を用いる。アイチソン距離は三角グラフ内での空間の歪みが各頂点付近で大きくなることを考慮した条件に適合する距離のスカラー量として定義されている[9]。任意の人口や道路に関する組成を \mathbf{x}, \mathbf{y} とすると式(1)のように表される[10][11]。

$$D(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \left[\frac{1}{3} \sum_{i < j} \left\{ \ln \frac{x_i}{x_j} - \ln \frac{y_i}{y_j} \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

一方で、本研究で扱う人口属性や道路種別は、属性や種別が偏ってしまうことによって、ある人口属性、道路種別によっては0値を取り得る。アイチソン距離は0値を許容していないため、道路属性、人口属性ともにすべてのデータに微小値0.01を加えたうえで割合を算出した[12]。

3.3. アイチソン距離の視覚化

図7は対象日14時におけるアイチソン距離をメッシュごとに視覚化したものである。国道のあるメ

ッシュはアイチソン距離が短く、現実と理想の齟齬が少ない。逆に国道も県道も通っていないメッシュはアイチソン距離が長くなっており、現実と理想の齟齬が大きいことがわかる。この日時において、茨城県県南では交通量が多く、また、通勤・通学のために茨城県内、県外からの来訪者が存在し、その需要に応じている国道のあるメッシュのアイチソン距離が短いという結果になっていることがわかる。

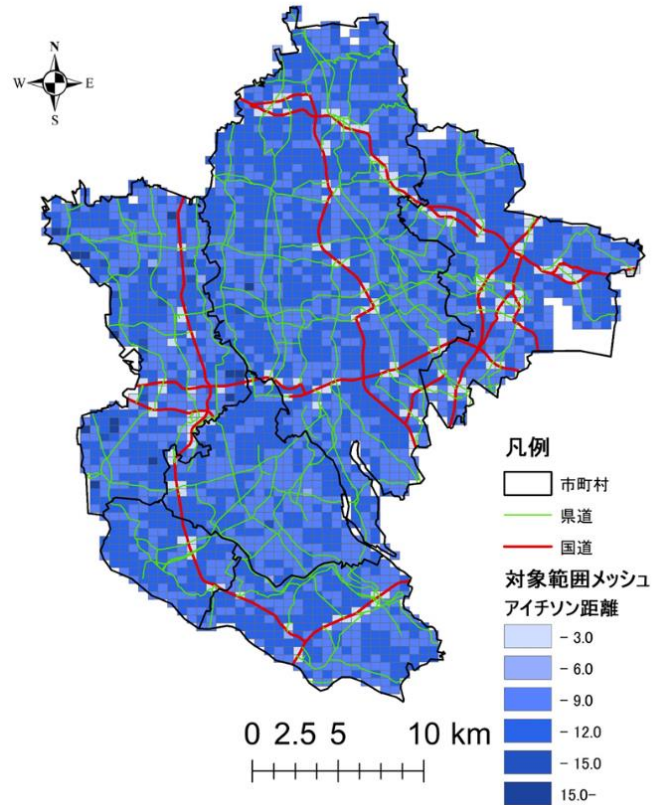


図7 アイチソン距離の結果

また、同日時におけるアイチソン距離が16.3と最も長い、つまり、現実と理想の齟齬が大きいメッシュを図8に示す。常総市のメッシュとなっているが、メッシュの周辺には常総市とつくばみらい市の市境である小貝川にまたがる福岡堰が架けられている。福岡堰は桜の名所であり多くの観光客が訪れる。対象日は平日ではあるが、福岡堰を渡るために多様の居住地属性の人がこのメッシュ内の道路を利用していることが予想される。それにも関わらず、メッシュ内には市道しか存在しておらず、道路の現状と利用実態がマッチしていないことが推測される。

他にもアイチソン距離の長いメッシュの例を挙げ

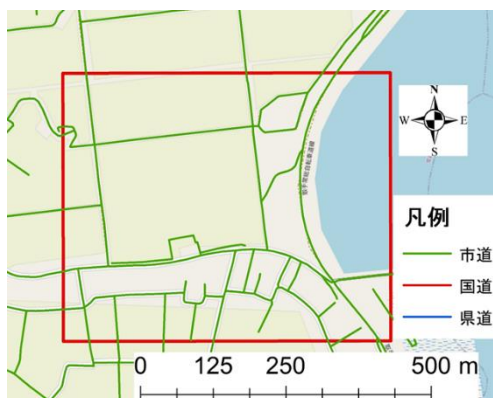


図 8 常総市のアイチソン距離が長いメッシュ

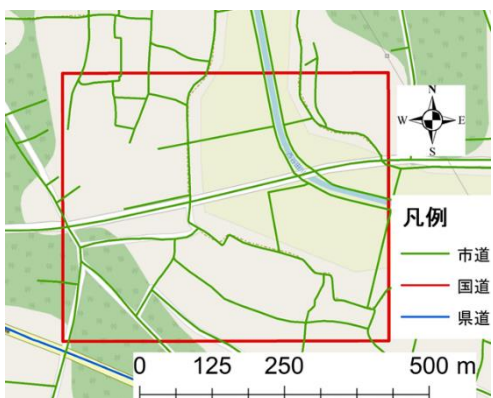


図 9 つくば市のアイチソン距離が長いメッシュ

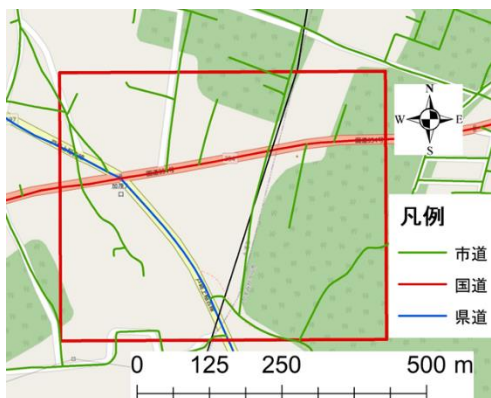


図 10 土浦市のアイチソン距離が短いメッシュ
 常総市以外の自治体でアイチソン距離の長いメッシュとしてつくば市の中別府のメッシュを図 9 に示す。アイチソン距離の長さは 16.1 で、全体の 4 番目である。このメッシュ付近には、南に県道 123 号線、東に県道 45 号線があり、県道利用者により交通量が多くなっている。それに加えてメッシュ内にも幅員の広い市道が貫いており、多くの通過交通が存在する。様々な居住地属性の人口による交通量が多いメッシュに関わらず、メッシュ内には市道しか存在しないため、アイチソン距離が長くなっている。

アイチソン距離が 0.22 と最も短い。つまり理想と現実の齟齬がないメッシュを図 10 に示す。土浦市とかすみがうら市の境界にまたがるメッシュであるが、県道と国道が交差する交差点があり、メッシュ内に県道と国道の延長が確保されていることから、需要と供給のバランスがうまく取れている。

3.4. 時間分析

本節と次節では、図 11 のような作業フローで、対象となる時間、自治体ごとに実数値を合計後、割合を算出し、アイチソン距離を算出している。

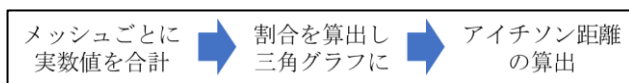


図 11 作業フロー

まずは、時間別に分析していく。表 3 は時間帯ごとの道路延長と人口を示している。それぞれの時間帯における合計人口はどの時間帯も大きな差がないことがわかる。しかし、昼間に人流が活発になる昼夜間での移動交通の差を考慮すると、昼間においての道路インフラは、実際には実数値以上の利用者に利用されており、昼間人口考慮の必要性がわかる

次にこの実数値から割合を求め、三角グラフにプロットしたものを図 12 に示す。また、表 4 は道路種別のプロットと各時間のプロットとのアイチソン距離をまとめたものである。表 4 () 内は時間平均を 1.00 と基準化した場合の数値を示している。20 時のアイチソン距離が一番短く、夜から昼になるにつれてアイチソン距離が長くなっていることがわかる。

また、それぞれの点を見ていくと県方向に齟齬がある形で点がプロットされていることがわかり、昼間に向かうたびに、特に県道が不足していくことがわかる。

表 3 時間帯ごとの道路延長と人口

道路延長 (km)	市道	県道	国道
—	11,089.3	642.4	169.6
人数 (人)	市民	県民	その他
2時	502,613	10,077	19,544
8時	389,323	101,966	42,950
14時	354,433	129,421	51,939
20時	443,314	56,176	25,630
24時間合計	10,125,149	1,802,288	826,856

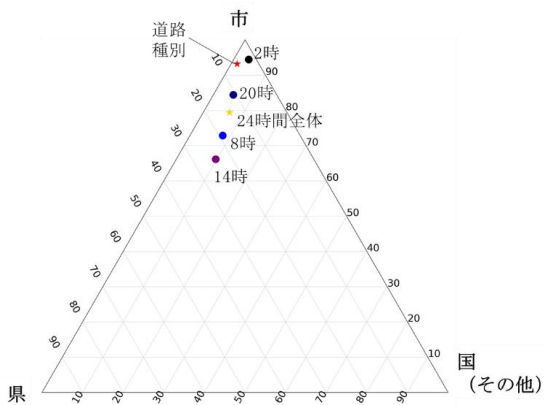


図 12 時間帯別の三角グラフ

表 4 時間帯ごとのアイチソン距離

時間	道路種別によるプロットとの アイチソン距離
時間平均	1.2 (1.00)
2時	1.4 (1.17)
8時	1.5 (1.25)
14時	1.7 (1.42)
20時	0.9 (0.75)

3.5. 空間分析

次に空間的に分析していく。表 5 は自治体ごとの道路延長と対象日 14 時における人口をまとめたものである。自治体ごとのアイチソン距離を分析するには、その自治体の規模感も把握する必要がある。実数値を見ると、つくば市の道路延長、人口はどちらも最も大きい。道路延長が最も短いのは守谷市、人口が最も少ないのはつくばみらい市である。

ここから割合を求め、三角グラフにプロットしたものを図 13、それぞれのアイチソン距離を表 6 に示す。メッシュの属する自治体については、そのメッシュの重心がどの自治体に属しているかで判断し、表 6 () 内は全体平均を 1.00 と基準化した場合の数値を示している。

すべての自治体においてプロットの方法、アイチソン距離ともに、全体平均と同様に、県方向に齟齬があるという傾向が見れる。ただ、つくばみらい市に関してはアイチソン距離が平均よりも大きく長くなっていることが見て取れる。つくばみらい市は新興住宅地として市内の人出の流動性が大きいことや、東京方面からつくば市方面への通過交通の影響が考えられる。また、取手市のアイチソン距離は全体と

ほとんど同値であるが、プロットされている点が、全体とはずれていることが見て取れる。これは取手市の県道割合、国道割合ともに 6 つの自治体の内最小であることが原因である。

表 5 自治体ごとの道路延長と人口

道路延長 (km)	市道	県道	国道	総延長
つくば市	4,347.8	289.4	57.4	4,694.5
つくばみらい市	1,135.2	72.0	5.5	1,212.7
常総市	1,813.9	99.5	29.7	1,943.0
土浦市	1,934.6	85.9	56.0	2,076.6
守谷市	618.6	31.1	6.2	655.9
取手市	1,239.2	64.7	14.7	1,318.6
全体合計	11,089.3	642.4	169.6	11,901.4
人口(人)	市民	県民	その他	合計人口
つくば市	132,891	50,544	23,661	207,096
つくばみらい市	25,319	10,087	3,996	39,402
常総市	32,833	13,777	3,822	50,431
土浦市	77,561	33,506	7,404	118,472
守谷市	31,054	10,392	5,645	47,092
取手市	54,775	11,115	7,411	73,300
全体合計	354,433	129,421	51,939	535,793

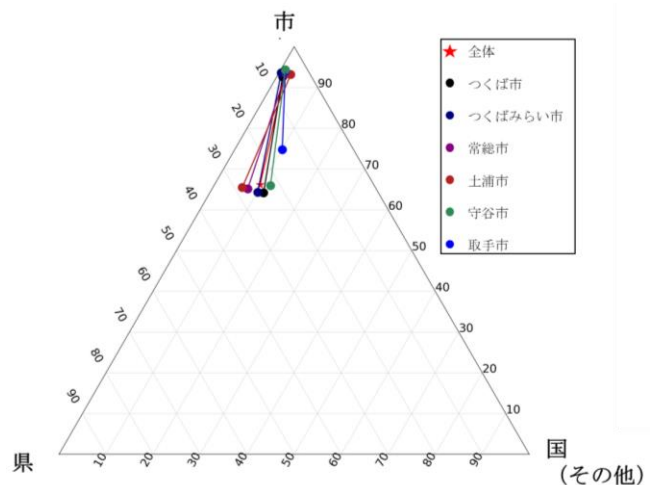


図 13 自治体ごとの三角グラフ

表 6 各自治体のアイチソン距離

自治体名	道路種別によるプロットとの アイチソン距離
全体平均	1.7 (1.00)
つくば市	1.9 (1.12)
つくばみらい市	2.5 (1.47)
常総市	1.6 (0.94)
土浦市	1.6 (0.94)
守谷市	2.1 (1.24)
取手市	1.7 (1.01)

4. おわりに

道路という公共財を享受しているのは、道路走行者だけではなく、道路沿線の居住者や事業者、ロードサイドショップでもあり、道路管理を論じる場合にはそのような土地利用を踏まえた受益者も考慮しなければならない。人流データは、交通量など道路センシングによる得られる交通量のみではなく、土地利用を含めた道路インフラ全体の効果を組み込んでいるとも言えよう。

道路インフラ管理において、日常的な工事やパトロール、さらには突発的な事故や災害を考えると、一本の道路を同一管理者が対応することが現実的である。一方で、我が国の財政は厳しく人口減少を踏まえると膨大な道路インフラを現状のように管理していくことは現実的ではなく、公共財である道路に受益者負担の原則を適用し管理していくことが考えられる。そこで本研究では、道路管理の連続性という前者より受益者負担という後者を優先し、4次メッシュ単位で、利用者と負担者を紐づけた分析を行った。本研究による、三角グラフの視覚化、アイチソン距離による数値化などの分析を通して、道路種別と人口属性には乖離の大きさを時間帯、自治体別に確認できた。この結果からは、受益者負担原則によると管理者と利用者との間には齟齬があることが理解できた。従って、市道・県道・国道による道路管理者のゼロイチの単純なすみわけではなく、国や県からの補助金による補完、人流交流の多い市町村同士での広域連携など、柔軟な道路管理体系の必要性を示すことができた。モータリゼーションにより移動は伸びた。そして長期的には時代とともに、短期的には時間とともに人流は変化する。本研究により、既存の道路管理を基本としつつも、弾力的な運用が必要であることを指摘できた。

今後の課題として、市町村間での人流を世代別・男女別に分析すること、対象範囲を広げること、橋梁などインフラをピンポイントに絞りこむこと、他のインフラとの関係を分析するなどが考えられる。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP20K20417 の助成を

受けました。モバイル空間統計の販売元である、株式会社ドコモ・インサイトマーケティングには多くの助言を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] 植淵知哉・村中亮夫 (2018) : 地域と統計<調査困難時代>のインターネット調査, ナカニシヤ出版.
- [2] 斧田佳純・浅野礼子・鈴木俊博 (2020) : ウィズ・アフターコロナ時代におけるモバイルビックデータの活用可能性, 横幹連合コンファレンス予稿集, 第11回横幹連合コンファレンス, C-4.
- [3] インフラ再生研究会 (2019) : 荒廃する日本 これでもいいのかジャパン・インフラ, 日経コンストラクション編.
- [4] 内藤伸浩 (2015) : 人口減少時代の公共施設改革まちづくりがキーワード, 時事通信社出版.
- [5] 日経 BP (2020) : これではまずい! インフラの維持・補修 実例を基にした Q&A と図解で正しい知識を学ぶ, 日経コンストラクション編.
- [6] 一般財団法人自動車検査登録情報境界 (2020) : わが国の自動車保有動向 (2021.8.31 最終閲覧), <https://www.airia.or.jp/publish/statistics/trend.html>
- [7] 坂本信雄 (2003) : 住民と非住民の行政サービス料金に関する格差, 生活経済学研究, 18 巻, 47-56.
- [8] 太田享・新井宏嘉 (2006) : 組成データ解析の問題点とその解決方法, 地質学雑誌, 112 (3), 173-187.
- [9] Aitchison, J., 1992, On Criteria for Measures of Compositional Difference. *Mathematical Geology*, **24**, 356-379.
- [10] Pawlowsky-Glahn, V. and Egozcue, J.J., 2001, Geometric approach to statistical analysis on the simplex. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, **15**, 384-398.
- [11] Pawlowsky-Glahn, V. and Egozcue, J.J., 2002, BLU Estimation and Compositional Data, *Mathematical Geology*, **34**, 259-274.
- [12] 吉田崇紘・堤盛人 (2014) : 空間的相関を考慮する組成データ解析手法の社会経済データへの応用, S-PLUS 学生研究奨励賞応募論文.