

115. 非常時のアクセシビリティとキャパシティに着目した施設利用可能性分析

- 青森市のガソリンスタンドを対象として -

Availability Analysis of Facilities focusing on Accessibility and Capacity in an Emergency

- Case Study on Gas Station in Aomori City -

讃岐 亮*・鈴木 達也*・吉川 徹*

Ryo Sanuki*, Tatsuya Suzuki* and Tohru Yoshikawa*

The purpose of this study is to analyze the accessibility and availability of gas stations in an emergency with all-at-once gasoline demand by the residents. To this end, a case study was conducted in Aomori City in terms of gas station capacity and road distances measured by GIS. Two types of action were assumed, one is the exploratory type that the residents sequentially explore the nearest facilities, and the other is the pre-assigned type that they go to the pre-assigned. In addition, two stages of restriction for amount of gasoline supply were assumed. The accessibility and availability of gas stations was obtained under these conditions, and the result showed effectiveness of the pre-assignment and the restriction.

Keywords: automobiles, GIS, road distance, network analysis, basic survey of city planning, subdivision mesh of land-use

自動車, 地理情報システム, 道路距離, ネットワーク解析, 都市計画基礎調査, 土地利用細分メッシュ

1. はじめに

1.1 研究の背景と目的

2011.3.11の東北地方太平洋沖地震が与えた教訓の一つに、需要同時発生時のガソリンスタンド(以下SS)の利用困難性が挙げられる。被災地以外でも不安に駆られた給油客が殺到しSSによっては給油制限が設けられた¹⁾。緊急事態における市民心理に鑑みると、燃料確保行動の一律的抑制は難しい。むしろこのような需要の同時大量発生時の供給体制を再検討すべきである。給油不能、長距離移動となる住民の分布を予測する手法の確立や、それらを抑制する誘導施策や給油制限措置の模索は、非常時対応に資すると期待できる。同時に、需給の偏りによる給油量・残油量のSS毎のばらつき抑制に関する、上記施設誘導や給油制限措置の効果を定量的に把握することも、緊急車両など必要性が高い車への給油確保のため重要である。さらに、SSの施設数減少^{2),3)}によりアクセシビリティが低下している^{4),5),6)}ことから、上記の探究は喫緊の課題と言える。

こうした背景を受けて、本研究では、SSの燃油保管に関するキャパシティを踏まえ、需要が同時大量発生する際の施設利用の可能性について、アクセシビリティを加味しつつ分析する。その中で、消費者が一斉に最近隣のSSに向かう場合と、事前に割り当てられたSSに向かう場合の2ケースについて検討し、利用施設誘導策の有効性を検討する。また、給油制限措置のアクセシビリティ改善効果を検証すると同時に、燃油保管量の不確定性や必要備蓄量の保持の観点から、SS毎の残油率を分析することで残油量均等化への効果を検討する。これらにより、非常時燃料提供体制の施策立案に資する知見を得ることを目指す。

1.2 既往研究と本研究の位置づけ

施設のキャパシティを考慮した既往研究としては、救急

医療施設に確率的な容量を設定し利用効率や施設の選択割合等から仮想都市での施設の最適配置を計算した鶴飼⁷⁾や、施設に定員を設定し「可能な限り最短距離の施設を利用するが、不可能であれば次に近い施設を利用する」という状況下でシミュレーションを行い、施設利用確率の距離減衰関数を導出した柳澤・吉川⁸⁾の研究が挙げられる。

加藤・宮川⁹⁾は、キャパシティが時間経過とともに更新・回復する鉄道に着目している。荒川の大規模水害時を想定して住民が一斉避難するシミュレーションを行い、最寄施設から鉄道に乗るまでにかかる時間を分析した。酒川¹⁰⁾は、医療施設の外来患者について受領先決定要因を重回帰分析により分析しており、第1位の要因は距離であるが、第2位の要因としてキャパシティに起因する介在機会の存在も無視できないとしている。大坪¹¹⁾は、同様に受領行動の実態を調査し、山間地における道路の幅員や屈曲により、単純に直線距離¹²⁾によって受領可能圏域を推定することが不可能であると指摘している。

上記のように、既往研究では理論モデル構築や災害時のシミュレーションに加え、医療施設における実態把握がなされているが、SSをキャパシティのある施設とみなし、アクセシビリティの観点も導入して実証的に分析した研究は見当たらない。本研究はその点に着眼するものである。

2. 研究の方法

2.1 分析対象とデータの概要

青森県青森市を中心とする図1に示す地域を分析対象とする。これは、市街地・郊外・山間地が比較的狭い範囲で混在し、分析対象に相応しいと判断したためである。なお、分析結果の歪み発生回避のため、青森市民の市外のSSへの流出や市外から市内SSへの流入を想定して解析

* 正会員 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 (Tokyo Metropolitan University)

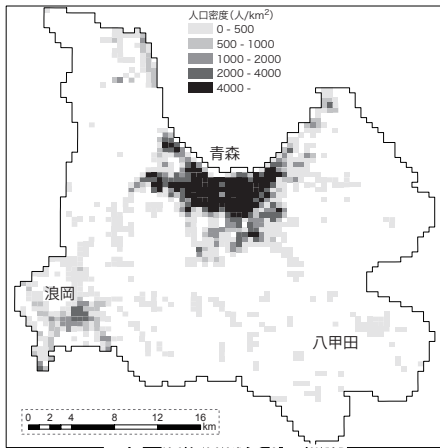


図1 対象地域の人口分布

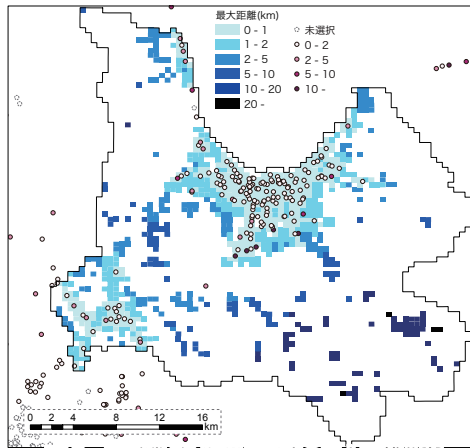


図2 最近隣SSを選ぶ平時の最大距離分布

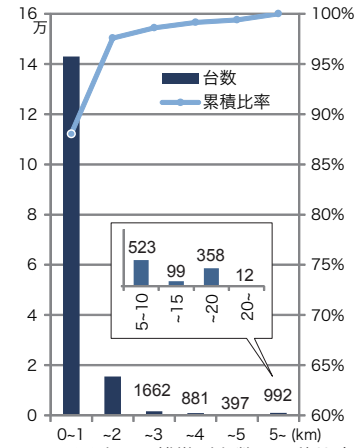


図3 平時の距離帯別台数と累積比率

を行う必要があり、本研究では、青森市に隣接する自治体の人口と青森県全体のSSも解析の計算因子に加えた^{注1)}。考察は青森市内の人口、及びSSについて行う。

SSのデータについては、国土数値情報「燃料給油所」のうち、「SS (ガソリンスタンド)」を用いる。但し、高速道路SAに付属するSSは除外した。SSのキャパシティについては、石油情報センター調査報告書¹³⁾掲載の、H21時点のISSあたり平均地下タンク容量29.4kLを全SSの燃油保管量とした。

世帯数、自動車台数は、H22国勢調査小地域集計データから建物ポリゴンに面積按分し、100mメッシュに変換したものをを用いる。具体的には以下の処理を行った。

まず自治体境界図として、入手できる最新の境界データである平成17年度国勢調査のGISデータを準備する。これと平成22年度国勢調査の小地域集計人口とを、境界変更等を加味しながらGIS上で照合し、更新した。更に、青森市都市計画区域内においては都市計画基礎調査の建物現況のうち住宅に類する建物を、区域外においては国土地理院の基盤地図情報25000の建物外郭線を抽出し、小地域の世帯数を建物ポリゴンに投影面積により按分した。その上で、国土数値情報土地利用細分メッシュを重ね、メッシュ毎に属する建物の座標を世帯数で加重平均して求めた代表点に世帯数の合計値を与えた。

なお分析は自動車台数を単位とするので、国土交通省東北運輸局による平成22年度末青森市自動車保有台数のうち乗用車と軽自動車の台数合計をH22国勢調査の世帯総数で除した原単位である1.36台/世帯を、世帯数に掛けることで、メッシュ毎の自動車台数を導出した。

道路は、平成14年国土地理院数値地図25000の道路中心線データの幅員3m以上道路を基に、2011年1月時点の道路整備状況を踏まえて独自に修正したデータを用いる。なお、東北自動車道と青森自動車道は除外した。

以上をもとに、メッシュ-SS間、SS-SS間の道路距離をGISのネットワーク解析で計測し、分析に使用する。

2.2 平時のアクセシビリティ

3, 4章で展開する施設キャパシティを考慮した分析は、前述の通り非常時を想定したものである。それとの比較対

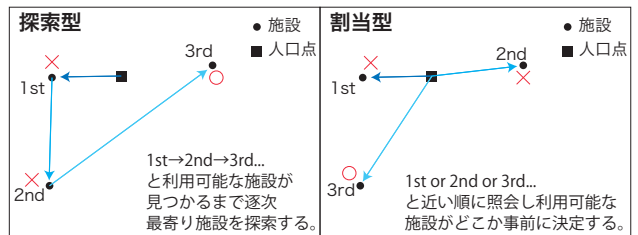


図4 非常時の行動パターン

象として、本節で平時のSSのアクセシビリティを示す。図2は、土地利用細分メッシュ(100mメッシュ)を読解しやすいように4次メッシュ(500mメッシュ)に再集計し、距離の最大値を示したものである。またSS毎に、最近隣施設として選ぶ利用者の道路距離の最大値を示す。

既往研究と同様に、山間部でアクセシビリティの低下が認められるが、市街地は概ね近距離でSSにアクセス可能である(図2)。数値で見ると、14.3万台、全体の88%が1km未満に位置し、5km以上は992台、0.6%である(図3)。5km以上の内訳は、5~10、10~15、15~20、20以上がそれぞれ523台、99台、358台、12台である。

2.3 非常時の消費者行動パターンの想定

非常時における消費者の施設利用行動を考えると、まず最近隣施設に向かうことが自然である。あるいは、キャパシティが存在する施設では、利用可否情報を取得して行く先を決めることも考えられるが、非常時には情報が混乱する可能性も高い。一方、自治体により非常時の行動計画が策定されている場合などには、事前に割り当てられた施設に向かう行動が考えられる。本研究では、これらの中で解析の簡便性から、最も自然な「最近隣施設に向かい、そこで空きがなければその施設を起点としてまだ確認していない施設の中で最近隣の施設を目指す」という「探索型」行動と、「事前に割り当てられた施設に向かう」という「割当型」行動の2パターンを想定し(図4)、行動パターンの差異による施設利用可能性の違いを検討する。

探索型では、消費者はまず起点(本研究では各メッシュ代表点)から道路距離で最短のSSへ向かう。そこで可能であれば給油を行う。不可であれば、そのSSから未確認のSSのうち道路距離で最も近いSSを目指し、最終的に給油できるまでこの動作を繰り返す。なお、探索型の距離

は、給油できなかったSSを経由した道路距離を指す。

割当型では、消費者は起点から最短のSSの利用可否情報を調べ、利用不可であれば次に起点から近いSSを調べる。つまり、起点からの距離の近い順に、キャパシティの超過したSSを避けつつ、消費者をSSに割り当てていく。探索型と異なるのは、事前に利用施設を決めること、起点からの道路距離に従うことである。なお、あるメッシュの全消費者を単一のSSに割り当てられない場合にはまず限度まで割り当て、残りを起点から次に近く給油可能なSSに順次割り当てていく。この方法は、消費者が一齐に自宅から給油に向かい到着順に給油するという前提で、給油可能なSSを予想して各消費者個別に事前告知することに相当し、探索型における給油不可な場合の手間を省く効果がある。mini-sumやmini-max¹⁴⁾とは異なるが、計算簡便化のため本手法を用いた。

自動車の給油量には、3章で満タン量、4章で制限量を設定し、施設利用可能性の差異を検証する。なお計算の簡便化のため、SSへの移動の燃料消費はないものとする。

3. 満タン給油の場合の分析結果

3, 4章における地図は、図2と同様に4次メッシュに再集計して、距離の最大値及び施設のRankを表示したものである。ここでRankとは、探索型においては給油までの探索回数、割当型においては割り当てられたSSが何番目に近いのかであり、意味が異なる。なお、日本における自動車の燃料タンク容量の一般値である40~70L¹⁵⁾から中央値55Lをタンク容量とし、自動車は一樣ランダムなガソリン残量を持ち、残量が少ない半数が平均的にタンクの75%が空の状態に給油所に向かうと想定する。従って満タン給油時の給油量は41.25Lとなる。SSの地下タンク容量と市内SS数より青森市の燃油総量は5057kL、満タン時給油量と市内の需要自動車台数より需要総量は3349kLであり、給油一回分の燃油総量は充足している。

3.1 探索型

青森市中心市街を見ると、最大距離が1km未満から5~10kmまでのメッシュが混在する(図5)。Rankを図6で確認すると、青森市中心市街地の西部と南東部に、探索回数が10を超えるメッシュが存在する。すなわち、たとえ近隣にSSがあっても、僅かな距離の差により到着が遅れ、キャパシティ超過により利用できず、給油するために探索を繰り返す住民が現れることが特徴的である。一方、対象地域南西の浪岡地域では距離は概ね2km未満であり、全消費者が最近隣SSを利用できる。これに対して、対象地域南東の山間地では10km以上のメッシュが見受けられる。特に八甲田地域は、最近隣SSへの距離が長いことため到着が遅れて給油不可となり、Rankが上昇しやすい。20km以上となり、Rankも10以上となる。

SS毎の最大距離については、青森市街でのばらつきが大きく(図5)、平時の状態(図2)と異なる。これもまた、遠方より複数回の探索を経て辿り着く利用者がいることを

示唆する。また、市街地では残油率0のSSが多く、その比率は全体の47.7%である。北部沿岸や浪岡地域では、残油率が高いSSが多い。

集計値を観察すると、図9の5km未満では、1km未満は6.2万台(全体の76.3%)、1~2kmは0.8万台、と台数は距離減衰する。結果として全体の95.0%が5km未満に収まる。一方、図10の遠距離移動を強いられる5km以上では5~10、10~15、15~20、20km以上がそれぞれ3796、83、91、116台である。これら5km以上の比率は5.0%と小さいが、無視できない台数が存在する。

3.2 割当型

最大距離では、青森市中心市街を見ると、SSが多い中心部や街道沿いに最大距離が1km未満の領域が広がり、最大でも5km未満である。探索型と比較して総じて最大距離が短縮する(図7)。Rank(図8)は青森市街西側や八甲田地域の西側で高いメッシュが表れる。一方、浪岡地区では距離変化は見られず、Rankも全てが最近隣SSを利用可能である。SS毎の最大距離は、探索型に比べてばらつきが小さい。総じてSSの残油率分布に大きな変化はないが、残油率0のSS数の比率48.3%と僅かに上昇する。

図9より、1km未満は6.5万台、全体の80.0%であり、探索型に対して上昇する。5km未満に収まるのは全体の99.2%であり、探索型に比べて4.2%高い。したがってSSの誘導施策にはアクセシビリティの改善効果がある。

5~10、10~15、15~20、20km以上はそれぞれ384、48、84、102台であり、探索型に対して明確に減少する(図10)。5km以上は全体の0.8%と小さいが、依然として相当数の消費者が存在する。その是正には、SSの誘導施策にmini-maxの論理を導入する必要がある。この効果検証は今後の課題である。

3.3 小括

平時と比べ非常時のアクセシビリティは低下し、普段利用するSSが使用できなくなる住民が市街地でも斑状に現れる。また、探索型よりも割当型で距離が短縮され、SSへの誘導施策がキャパシティの存在する施設へのアクセシビリティを改善することが示唆された。一方、SS毎の残油率にはほとんど変化が見られず、地下タンク保管燃油量の不確実性や燃油備蓄の一定量保持の観点から重要となる残油率の均等化への貢献には至らないと言える。

4. 給油制限の効果の検討

震災直後のガソリン需要の急激な高まりに対し、給油制限をかけてより多くの消費者にガソリンを供給しようとしたSSがあった。給油制限による供給客数の拡大は、給油回数の増加による時間ロス増大と、待機自動車の不要な燃料消費という負の側面を有する。一方で、より多くの消費者に一定の安心を与えつつ、消費者の移動は短くなるという正の側面も有する。前者の検討と両者のバランスについての考究は今後の課題とし、本研究では給油制限の正の側面に焦点を当て、その効果を分析する。加えて、給油制限

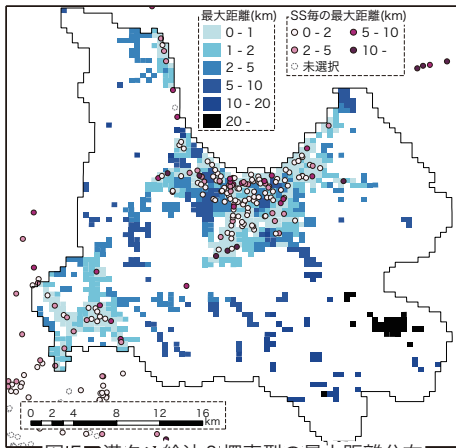


図5 満タン給油&探索型の最大距離分布

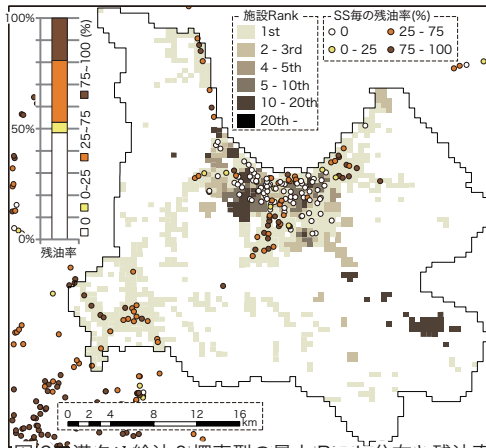


図6 満タン給油&探索型の最大Rank分布と残油率

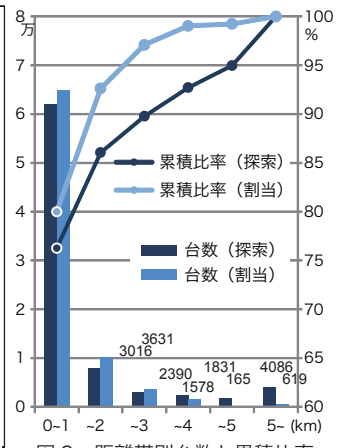


図9 距離帯別台数と累積比率

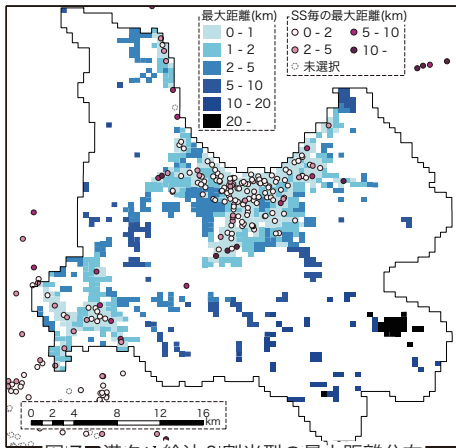


図7 満タン給油&割当型の最大距離分布

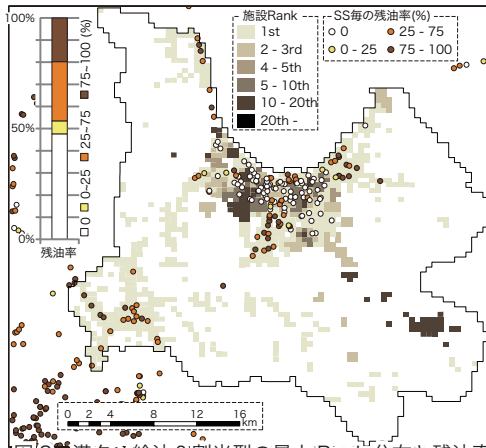


図8 満タン給油&割当型の最大Rank分布と残油率

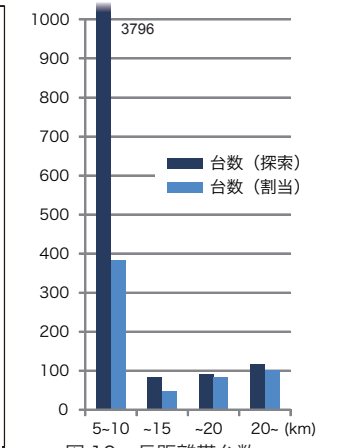


図10 長距離帯台数

という簡明な対策がSS毎の備蓄の一定量保持にどの程度貢献するかも検討する。

震災後の給油制限は、10L、20Lが多かったとされる¹⁶⁾。本章ではこの値を使用し、給油制限とその制限量に応じた施設利用可能性の変化を観察する。

4.1 20L制限の場合

探索型では、青森市街と八甲田地域で距離の短縮が、浪岡地域と津軽宮田以北を除いて全域的にRankの向上が表れる(図11,12)。青森市郊外の一部でRankが2以上になっているが、それ以外ではRankが1になる。また、SS毎の利用者の最大距離や残油率も改善される。残油率0のSSは4.7%と大きく減少する。

台数変化については、満タン給油に比べて5km以上の台数が3.6千台減少し496台、20km以上は116台から6台と、減少幅が非常に大きいことが特徴である(図17)。一方1km未満は9千台増加する。このように、20Lの給油制限はアクセシビリティの改善をもたらす。

割当型においても、市街地においては全域的に距離が短くなる(図13)。また、Rankも向上し、青森市郊外の一部を除いてRankは1となる(図14)。また、探索型との差が非常に小さくなることも特徴的である。残油率別の構成比は探索型の20L制限とほぼ同じである。図17より、5km以上は123台減り496台に、1km未満は6千台増加して7.1万台になり、アクセシビリティ向上の効果が

表れるが、探索型よりも変化は小さい。

4.2 10L制限の場合

探索型、割当型ともに、20L制限と比べて距離とRankが改善するメッシュが青森市街で散見されるが、総じて差は小さい。探索型と割当型ともに全域でRankが1(図16)、距離分布は平時を示す図2と同じになる(図15)。

5km以上の台数は、探索型と割当型ともに20L制限と同じである(図19)、1km未満は僅かに増加して共通の7.1万台になる。SSの残油率については、ともに75%以上のSSが73.8%まで上昇する。

4.3 小括

給油制限は、消費者に広くSSへのアクセシビリティ改善をもたらす、SSからSSへの探索回数を減少させる有効な手段である。20L制限で大きくアクセシビリティの改善が見られ、10L制限では平時と同等になる。特に、探索型における20L制限の効果は、割当型のそれよりも大きいことは特徴的である。

またSSの残油率についても、90%以上のSSが残油率25%以上となる20L制限に大きな効果が認められ、SS毎の残油率の均等化、及び一定量の保持の観点からも有効であることが示された。

5. おわりに

3章では、割当型の誘導施策には、残油率から見るSS

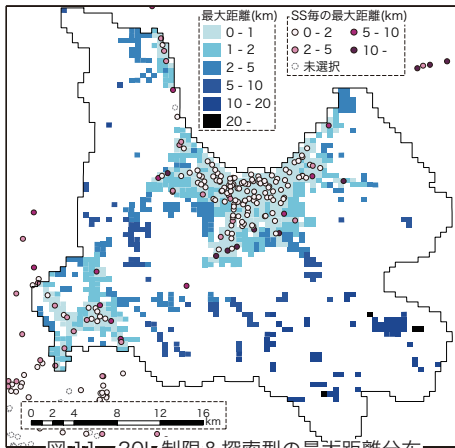


図11-20L制限&探索型の最大距離分布

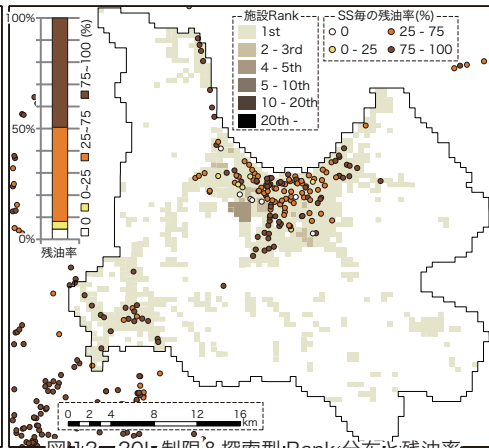


図12-20L制限&探索型-Rank分布と残油率

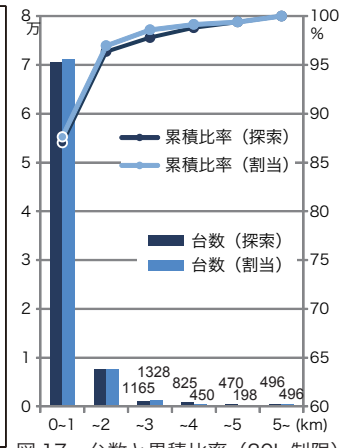


図17 台数と累積比率 (20L制限)

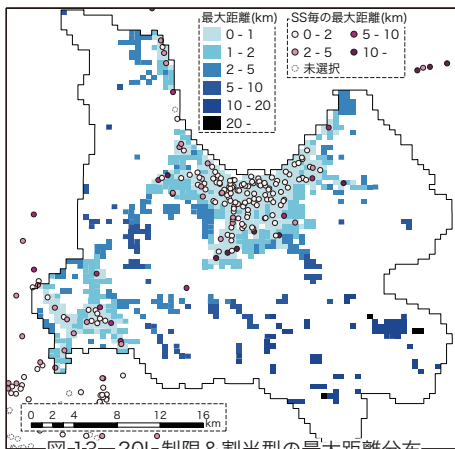


図13-20L制限&割当型の最大距離分布

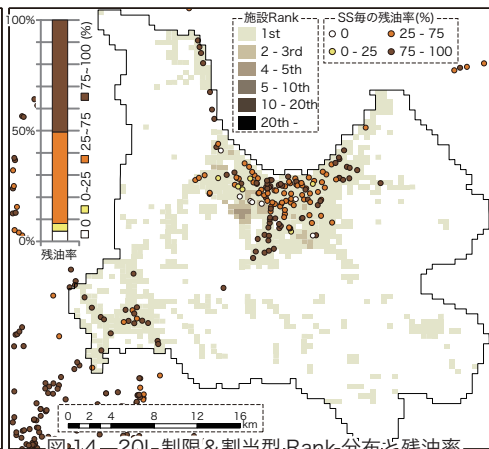


図14-20L制限&割当型-Rank分布と残油率

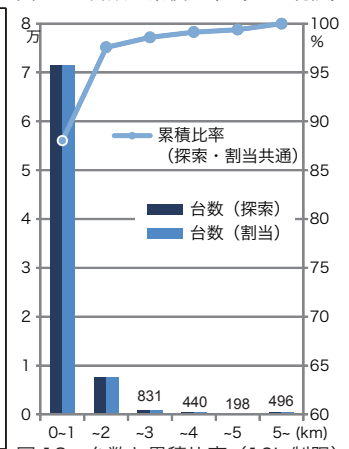


図18 台数と累積比率 (10L制限)

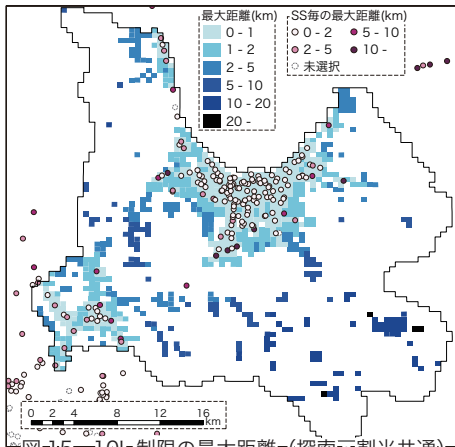


図15-10L制限の最大距離分布(探索・割当共通)

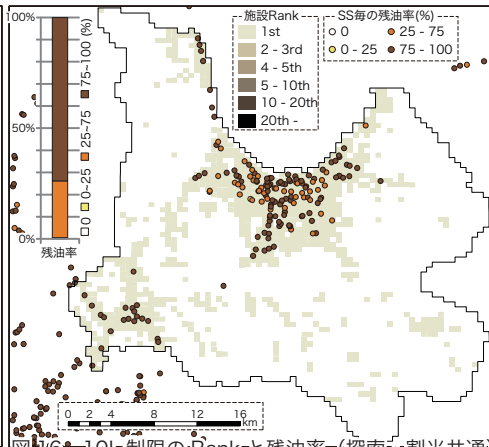


図16-10L制限のRankと残油率(探索・割当共通)

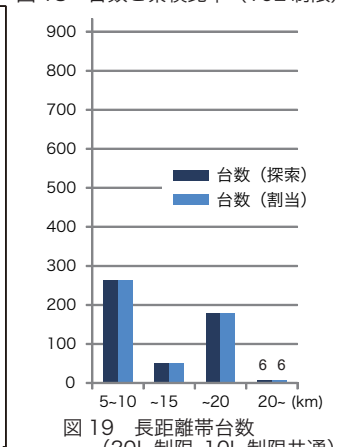


図19 長距離帯台数 (20L制限, 10L制限共通)

毎の残油量の均等化に対して大きな効果は見込めないが、平時よりも住民の行動の不確実性が高まる非常時において住民の施設へのアクセシビリティ改善に大きな効果があることがわかった。また、全自動車が給油に行くパニック状態を想定し平均給油量をタンク容量の50%とした場合(図20-25)と図5-10と比較すると、施設へのアクセシビリティが著しく低下し、割当型の誘導施策の有効性は高まるものの相当台数が長距離移動を強いられることがわかる。さらに4章では、青森市においては20Lすなわち満タン給油量の半分程度への給油制限でも残油量の均等化を含めた効果があることが示された。

以上より地方都市においては、需要が同時多量発生する

災害時のSSに対するアクセシビリティの低下を抑制するために、パニックによる需要量増大を抑止した上で、消費者の行動誘導にある程度の供給量コントロールを併用することが有効であることが示唆された。

残された課題としては次が挙げられる。まず割当型の誘導手法では普段から遠距離移動を強いられる住民はより遠いSSを選ばざるを得ないため、公平性の観点からの改善案が望まれる。また、給油に使用する燃油の削減(すなわち総移動距離最小化)や、給油待ち時間の短縮などを考慮した最適割り当て手法も検討に値する。同時に、誘導施策の実行を想定すると、地域ごとにSSを指示することが望ましく、この観点からの手法の改善が課題に挙げられる。

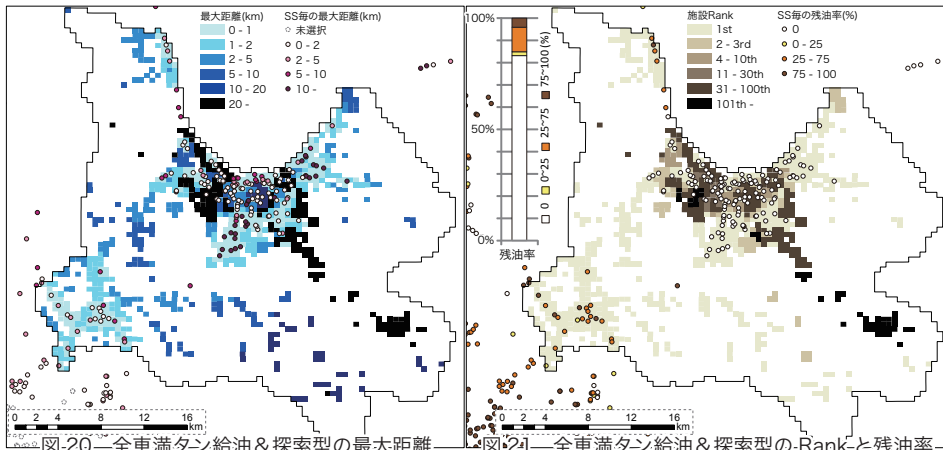


図20 全車満タン給油と探索型の最大距離

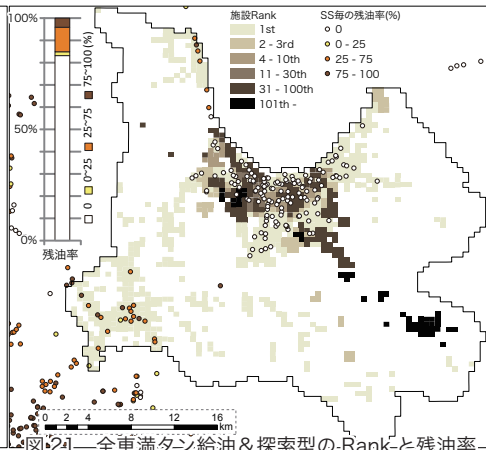


図21 全車満タン給油と探索型のRankと残油率

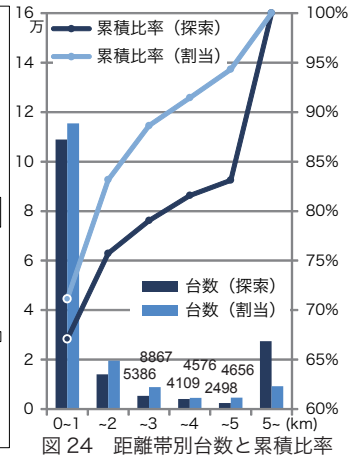


図24 距離別台数と累積比率

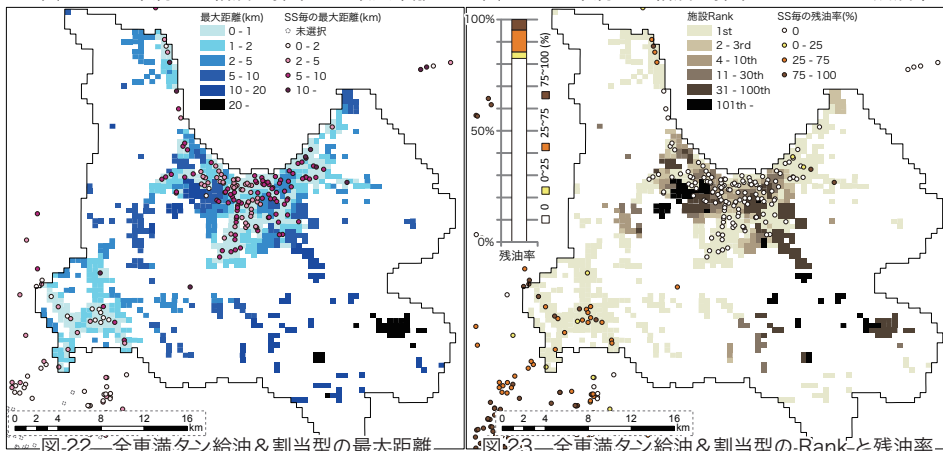


図22 全車満タン給油と割当型の最大距離

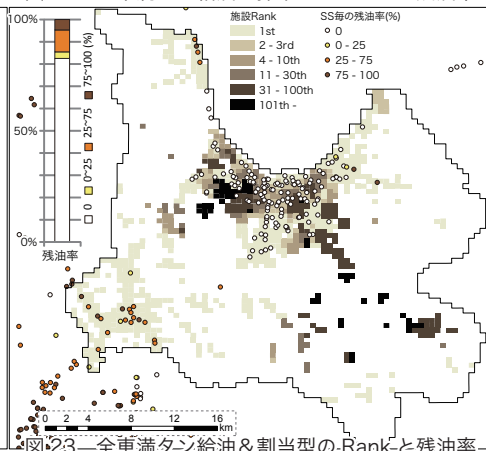


図23 全車満タン給油と割当型のRankと残油率

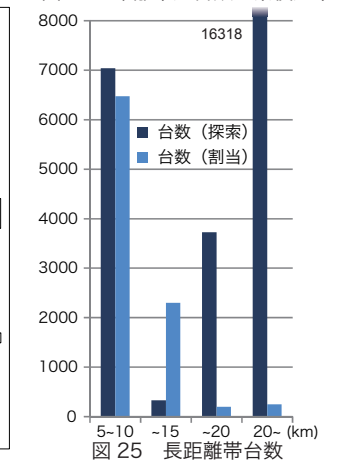


図25 長距離帯台数

さらには、需要の完全な同時発生という想定は発災直後のみに焦点を絞った簡便な想定であるため、供給体制の再構築までの期間全体を対象として、逐次需要が変化する時間軸を組み込んだ分析への発展が期待される。

また青森市においては、燃油供給可能量が一回分の給油による需要量を上回ると想定された。ただしこれは地下タンクが満タンであることを前提としており、また地下タンクの総容量が小さい地域もあると考えられ、さらに今後は人口減少によるSS数の減少や、競争激化による燃油保管量の切り詰め等もあり得る。これらを踏まえた、総燃油保管量減少の影響分析、広域的な分析、SS数や人口が減少する将来シナリオの分析も課題となる。

謝辞：本研究は、首都大学東京リーディングプロジェクト「環境負荷低減に資する都市建築ストック活用型社会の構築技術」、及び科学研究費（基盤C）「地域施設ストックの利用価値を人口分布と近隣ストックの状況から評価する手法の開発」の一環である。

補注：

注1) 青森市に隣接しない自治体の人口も考慮すれば、隣接自治体に自動車が入り玉突きで青森市内にも流入する可能性は否定できない。図2の左下隅の地域がこれに該当するが、当該地域と隣接自治体には十分な供給余力があり影響は小さいと判断されたため、計算量を配慮して隣接自治体の人口のみを考慮した。

参考文献

1) 日本経済新聞：『首都圏 我慢の連休』、2011.3.17 夕刊
 2) 小島正稔：規制と規制緩和が競争環境に与える影響 - 石油製品流通における業態形成に関する19カ国の比較研究、日本経営教育学会全国研究大会研究報告集、Vol.41, pp.74-78, 2006

3) 経済産業省資源エネルギー庁：揮発油販売業者数及び給油所数の推移、2011.7
 4) 朝日新聞：『ガソリンスタンド過疎』、2010.12.1
 5) 資源エネルギー庁：平成21年度SS過疎化調査事業（総合調査事業）報告書、全国石油協会、2010.2
 6) 讃岐亮、吉川徹：ガソリンスタンドのアクセシビリティ評価と施設撤退の影響評価 - 岩手県を分析対象にして、日本建築学会計画系論文集、Vol.77, No.673, pp.639-648, 2012.3
 7) 鶴飼孝盛：施設容量を考慮した救急医療施設の最適配置、オペレーションズ・リサーチ：経営の科学、Vol.54, No.7, pp.414-418, 2009.7
 8) 柳澤一希、吉川徹：定員がある地域施設の需要構造における距離減衰の理論的分析、日本建築学会計画系論文集、Vol.75, No.657, pp.2579-2587, 2010.11
 9) 加藤孝明、宮川勇二：荒川下流域の海拔ゼロメートル地帯における鉄道による広域避難の可能性の検討、生産研究、Vol.63, No.4, pp.495-499, 2011
 10) 酒川茂：広島市を中心とする外来患者の流動と受療先決定要因、地理科学、Vol.36, pp.23-31, 1981.9
 11) 大坪浩一：秩父地域における住民の受療行動とその地域的構造、地球環境研究、Vol.10, pp.29-40, 2008
 12) 腰塚武志・小林純一：道路距離と直線距離、日本都市計画学会学術研究発表会論文集、No.18, pp.43-48, 1983
 13) 日本エネルギー経済研究所石油情報センター：平成21年度給油所経営・構造改善等実態調査報告書、2010.3
 14) 杉浦芳夫：地理学講座 第5巻 立地と空間的行動、古今書院、p.75, 1989
 15) 株式会社アースエレメント：活性化燃料添加剤の使用方法和車両別効果について、http://wanokurashi.com/element/ee_syaryoubetsu.pdf, 2012.4.18 閲覧
 16) 株式会社ゴーラボ：災害時ガソリンスタンド情報、http://saigai.gogo.gs/, 2012.3.1 閲覧