京都市における帰宅困難者の推計と一時収容施設の適正配置に関する研究

○北本　英里子*1　山田　悟史*2
及川　清昭*3

キーワード：パーソンリップ調査　帰宅困難　一時収容施設　適正配置

１．はじめに

都市を直撃する巨大災害時には、多くの人々が帰宅困難となる事態が予想される[1)]。例えば、京都では寺院や観光施設の間で協定を締結し、災害発生後に帰宅困難者となった観光客が一時的に休憩・仮眠できる「観光客一時滞在施設」を指定している。

既往では、大佛らによりパーソントリップデータ（以下ＰＴデータ）を平日のデータから休日のデータに変換し、都市内滞留者の時空間分布推定する方法を検討している。また、GISから得られる施設情報を利用して、時空間分布を把握し、空間移動の推定モデルを構築している[2)3)]。

そこで本研究は、ＰＴデータを用いて京都市外から来訪している帰宅困難者の人口分布を推定した上で、京都市における避難所・観光客一時滞在施設の収容能力を定量的に評価し、帰宅困難者一時収容施設の適正配置について検討を行うことを目的とする。

２．研究概要

２－１．帰宅困難者の人口分布推定

京都市外に居住している来訪者が帰宅困難者になると仮定し、京阪神都市圏人の流れデータを京阪神都市圏外に居住している人も含めた帰宅困難者の重みとなるように拡大係数の調整を行う（**式１**）。本研究は、京都市内に多く人が集まる休日16時のＰＴデータを使用した。

$$\text{帰宅困難者係数} = \text{元の拡大係数} \times \frac{\text{全来訪者}}{\text{近畿内居住来訪者} \times \dfrac{\text{京阪神都市圏居住人口}}{\text{近畿内居住人口}}} \times \frac{\text{京都市外居住来訪者}}{\text{全来訪者}} \quad \cdots(\text{式1})$$

次に、カーネル密度推定法を用いて地点ごとの帰宅困難者の人数を推定する。本手法は、ＰＴデータのポイントが含まれないメッシュの帰宅困難者を0人としないために用いた。カーネル密度のセルサイズは1辺が100mの正方形のメッシュとし、バンド幅は1000mとする。

２－２．帰宅困難者収容能力の現状評価

本研究では、避難所と観光客一時滞在施設を現状の帰宅困難者収容施設として扱う。避難所と一時滞在施設を母点とし、京都市内の任意の地点から最も近い避難所・一時滞在施設までのボロノイ図を作成する。次に、各ボロノイ領域に含まれる帰宅困難者の人口分布ポイントデータの人口合計から、母点となっている避難所または一時滞在施設の収容人員の差を、そのボロノイ領域において収容不可能な帰宅困難者数とする。これを全てのボロノイ領域について行い、現状を評価する。

２－３．帰宅困難者一時収容施設の適正配置分析

帰宅困難者数が収容人員を上回っているボロノイ領域に含まれる、100mメッシュSの中心点を需要地点、京都市内を500mの正方形に分割したメッシュの中心点を施設の候補地点としてネットワーク解析を行う。まずはじめに、必要最小施設数を求める。選択された施設から需要地点が10km範囲内に存在すること、帰宅困難者収容不可人数の99%が施設に収容されることを条件とし、これを「目標市場シェア」と呼ぶ。次に、「目標市場シェア」で求めた必要最小施設数から施設数を増やし解析を行う。選択された施設から需要地点が10km範囲内に存在すること、帰宅困難者収容不可人数が最大化されることを条件とし、これを「市場シェアの最大化」と呼ぶ。ただし、「目標市場シェア」「市場シェアの最大化」を求めるにあたり、複数の施設の10kmの範囲内にある需要地点は、需要地点から施設までの距離の反比例で帰宅困難者収容不可人数を候補施設に分割している。また、帰宅限界距離10kmを選択施設から需要地点までの範囲（インピーダンスカットオフ）の設定は、10kmまでは帰宅可能で、10～20kmの範囲では1km長くなるごとに帰宅困難者の割合が10%増加し、20kmを超えると帰宅困難割合が100%になる[4)]。以下に、需要地点から施設の範囲が重複しない場合と、重複する場合を示す（図１、式２～９）。

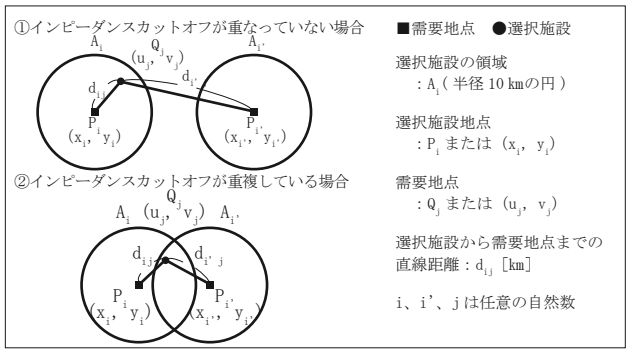

図１　施設・需要地点と施設範囲の関係

■需要地点が重複してない場合(図１の①)

$0 \leqq d_{ij} \leqq 10$、$10 \leqq d_{i',j}$、$d_{ij} \leqq d_{i',j}$　の場合

$$d_{ij}=\sqrt{(x_i-u_j)^2+(y_i-v_j)^2} \quad \cdots(式２)$$

選択施設の領域A_i内にある1つの需要地点Q_jから選択施設P_iまでの延べ距離をt_{ij}、需要地点Q_jに収容されている収容不可人数をn_jとすると

$$t_{ij}=d_{ij}\times n_j=\sqrt{(x_i-u_j)^2+(yi-vj)^2}\times n_j \quad \cdots(式３)$$

選択施設の領域A_i内にある全ての需要地点Q_jから選択施設P_iまでの延べ距離をT_iとすると、ここで領域A_iの中にある需要地点の番号の集合をM_iとすると

$$T_i=\sum_{j\in M_i} t_{ij}=\sum_{j\in M_i}\sqrt{(x_i-u_j)^2+(y_i-v_j)^2}\times n_j \quad \cdots(式４)$$

京都全域で選択施設地点から10km以内の需要地点からの総距離をTとすると

$$T=T_1+T_2+T_3\cdots+T_m=\sum_{i=1}^{m}T_i=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j\in M_i}\sqrt{(x_i-u_j)^2+(y_i-v_j)^2}\times n_j \quad \cdots(式５)$$

■需要地点が重複している場合(図１の②)

$0 \leqq d_{ij} \leqq 10$、$0 \leqq d_{i',j} \leqq 10$(式2)、$d_{ij} \leqq d_{i',j}$の場合、dの求め方は(式2)と同様である。しかし、需要は施設の距離の比に反比例して選択施設に収容されるので、領域A_iと領域$A_{i'}$に重複しているQ_jはP_iに$n_j\times\frac{d_{i',j}}{d_{ij}+d_{i',j}}$人が収容され

$P_{i'}$に$n_{j'}\times\frac{d_{ij}}{d_{ij}+d_{i',j}}$人が収容される。

よって、領域A_iのt_{ij}は

$$t_{ij}=d_{ij}\times n_j\times\frac{d_{i',j}}{d_{ij}+d_{i',j}}$$
$$=\sqrt{(x_i-u_j)^2+(yi-vj)^2}\times n_j\times\frac{d_{i',j}}{d_{ij}+d_{i',j}} \quad \cdots(式６)$$

$$t_{i',j}=d_{i',j}\times n_{j'}\times\frac{d_{ij}}{d_{ij}+d_{i',j}}$$
$$=\sqrt{(x_{i'}-u_j)^2+(y_{i'}-v_j)^2}\times n_{j'}\times\frac{d_{ij}}{d_{ij}+d_{i',j}} \quad \cdots(式７)$$

領域$A_{i'}$の中にある需要地点の番号の集合を$M_{i'}$とすると

$$T_{i'}=\sum_{j\in M_{i'}} t_{i',j}=\sum_{j\in M_{i'}}\sqrt{(x_{i'}-u_j)^2+(y_{i'}-v_j)^2}\times n_{j'}\times\frac{d_{ij}}{d_{ij}+d_{i',j}} \quad \cdots(式８)$$

$$T=\sum_{i=1}^{m}T_i+\sum_{i'=1}^{m}T_{i'}$$
$$=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j\in M_i}\sqrt{(x_i-u_j)^2+(y_i-v_j)^2}\times n_j\times\frac{d_{i',j}}{d_{ij}+d_{i',j}}$$
$$+\sum_{i'=1}^{m}\sum_{j\in M_{i'}}\sqrt{(x_{i'}-u_j)^2+(y_{i'}-v_j)^2}\times n_{j'}\times\frac{d_{ij}}{d_{ij}+d_{i',j}} \quad \cdots(式９)$$

最小施設数を求める時は、n_jの合計が収容不可人数の99%の時のiの最小値、施設数を最小値から増やし解析を行う場合は、Tの値が最小になる時のQ_jの場所をを求める。

最後に、各選択施設数で割り当てられた供給量が、候補地店からリニアに減衰し、10kmで0となるように評価値を設定する。各選択施設数ごとに評価し、施設ごとの評価値の合計を求める。合計が高い地点を有効な施設配置として、帰宅困難者収容施設の適性配置を考察する(式３)。

$$評価値=\Sigma Wi\times\frac{10km-Li}{10km} \quad \cdots(式３)$$

Wi:選択施設数i箇所のときの、最寄りの選択地点に割り当てられた需要
Li:選択施設数i箇所のときの、最寄りの選択地点までの距離

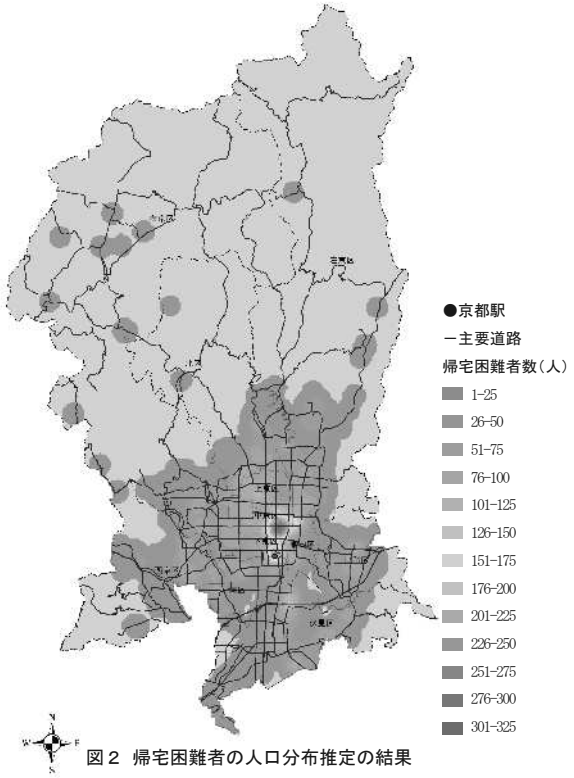

図２　帰宅困難者の人口分布推定の結果

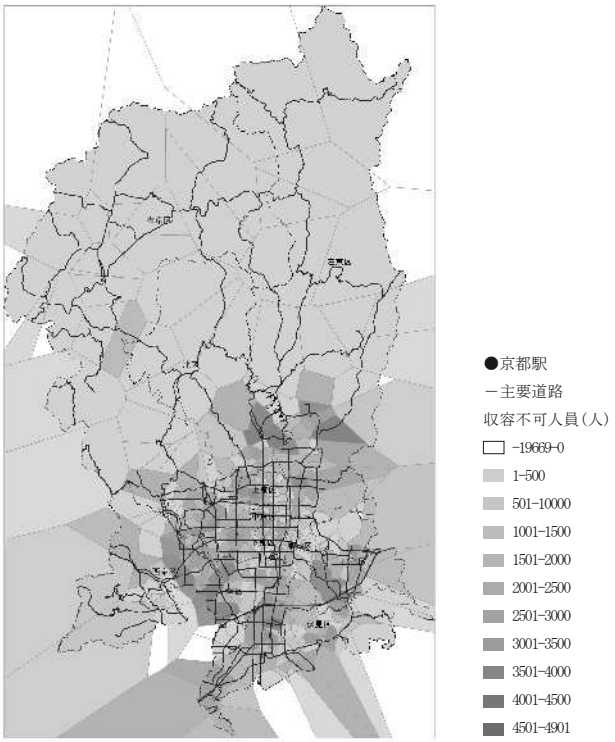

図３　帰宅困難者収容不可人数

３．解析結果

３-１.帰宅困難者の人口分布

人の流れデータから作成したＰＴデータにカーネル密度推定を行った結果、帰宅困難者数は京都市全体で合計が767,626人となった。単位面積当たりでは下京区が11.940274人/h、中京区が9.940517人/h、上京区が6.656592人/hと値が高くなった(図２)。

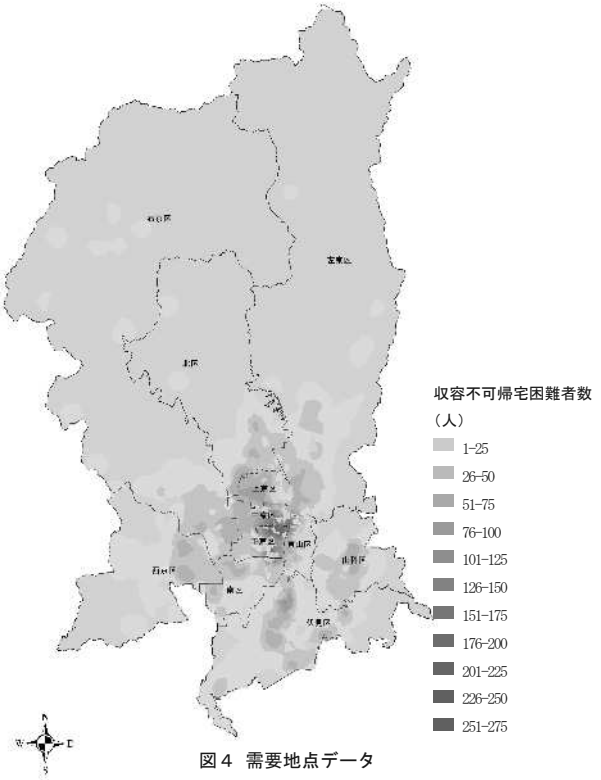

図４　需要地点データ

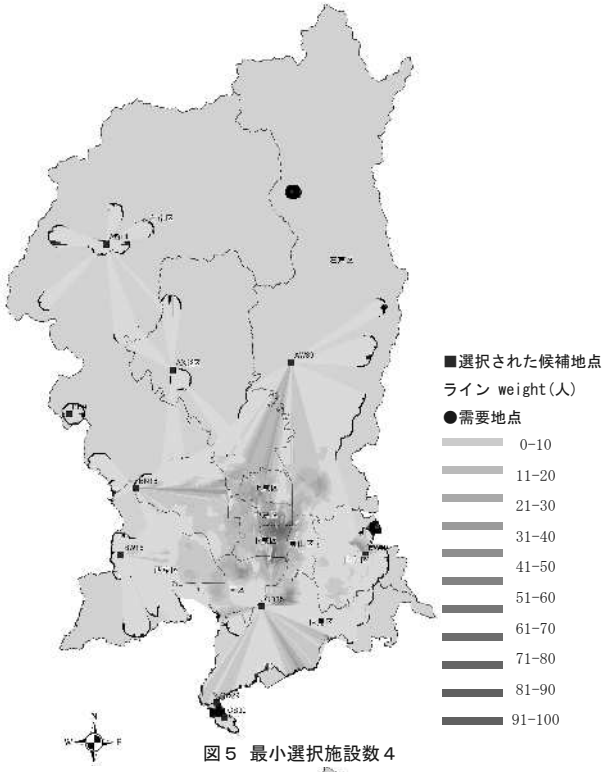

図５　最小選択施設数４

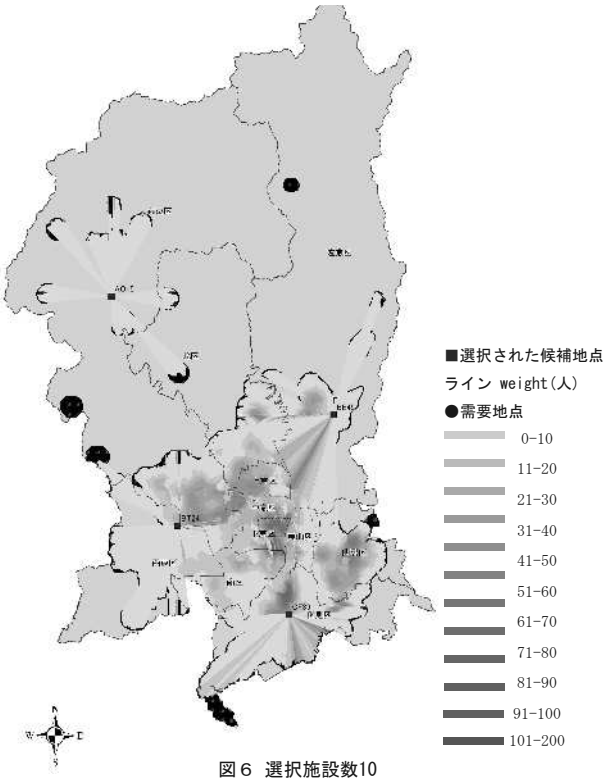

図６　選択施設数10

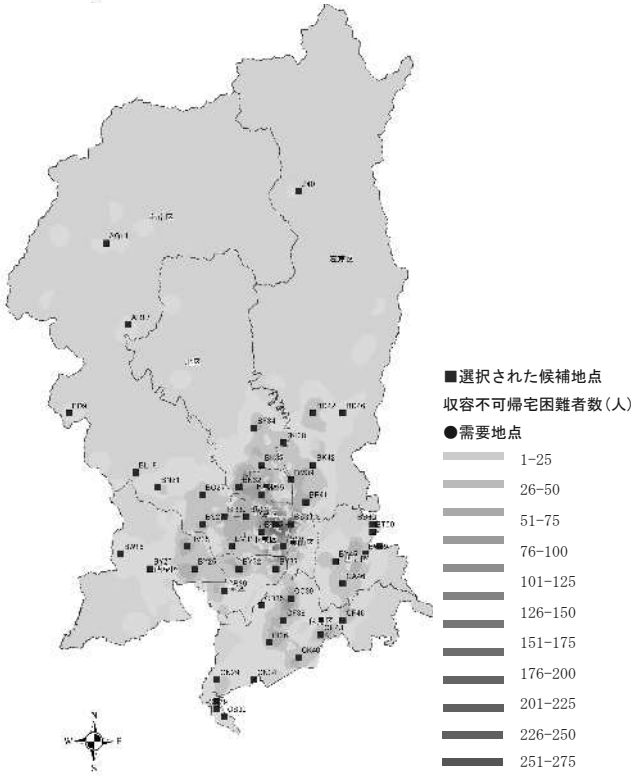

図７　選択施設数50

３－２．帰宅困難者収容能力の現状

避難所と一時滞在施設を母点とした結果、542箇所中407箇所が収容人数を上回った（図３）。京都市全体では、帰宅困難者が全ての避難所・観光客一時滞在施設が満員になるまで収容された場合340,745人、全ての帰宅困難者が最近隣の距離避難所にのみ向かう場合549,152人が、施設に収容されないことがわかった（図４）。

３－３．帰宅困難者一時収容施設の適正配置

ネットワーク解析の結果、必要最小施設数は4箇所であった。施設数を1～10施設、以降は10施設の間隔で、50箇所まで施設数を増やし、解析を行った。果、上京区、中京区、下京区、伏見区、山科区に集中した（図５～７）。選択された候補地点をまとめたものが図８である。また、各メッシュの評価値の合計は、南区と伏見区が高くなった（図９）。

４.まとめ

本研究は、ＰＴデータを用いて帰宅困難者の人口分布を推定した上で、京都市における避難所・一時滞在施設の収容能力を定量的に評価し、帰宅困難者収容施設の適正配置について検討を行った結果、以下の考察が得られた。

１）四条烏丸や、京都市駅付近の地域においては、特に多くの帰宅困難者が発生することが推測される。

２）現状では帰宅困難者全員を収容することは不可能であり、より多くの企業や寺院などに一時滞在施設の協定を締結する必要がある。

３）京都南インターチェンジ付近の地点に優先的に帰宅困難者一時収容施設を設置する必要があると考えられる

今後の課題として以下のことを検討する必要がある。

１）帰宅困難者の推計を行った結果、京都市全体で帰宅困難者が 767,7626 人であった。この要因には、帰宅困難者係数の算出時に、京都駅の来訪者の割合を全体の割合に適応した結果と考えられる。京都駅の来訪者は各区の来訪者数と比べ大幅に値が大きく、今後、京都駅来訪者数の割合を考慮して人口分布の推計を行う必要がある。京都駅を考慮すると、帰宅困難者数は 558,232 人であった。

２）帰宅困難者一時収容施設の適正配置の分析では、必要最小施設数を求める際に「目標市場シェア」と、施設数を増やし出来るだけ需要が最大化される候補施設を選択する「市場シェアの最大化」を使用した。これらは複数の施設からの 10 ㎞のインピーダンスカットオフが重複している場合、各需要地点から施設までの距離の反比例で帰宅困難者収容不可人数を候補施設に分割している。しかし、全ての帰宅困難者が需要地点から最も近い施設に割り当てられる場合も考えられる。

３）正確な配置検討を行うために、候補施設数の間隔を狭め、詳細な検討が必要があると考えられる。

４）一時滞在施設の配置を考慮した研究であるが、既存の施設で一時滞在施設を検討することも考えられる。

謝辞

本研究は、立命館大学歴史都市防災研究所の研究助成を受け行われた。また、東京大学空間情報科学研究センターとの共同研究「地理空間情報を用いた避難施設及び避難経路の計画手法に関する研究」として借用しているデータを用いた。さらに、作成にあたり，立命館大学卒業生の中川香氏の尽力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1)首都直下地震帰宅困難者等対策協議会：首都直下地震帰宅困難者等対策協議会中間報告、2012年3月

2)大佛俊泰，島田廉：平日と休日における都市内滞留者の時空間分布推定と地震被害想定への応用、日本建築学会計画系論文集　74巻(635号)、p145-152、2009年1月

3)大佛俊泰：数値地図を用いた都市内滞留者の時空間分布推定、日本建築学会計画系論文集　73巻(634号)、p2673-2678、2008年12月

4)中林一樹：地震災害に起因する帰宅困難者の想定手法の検討、総合都市研

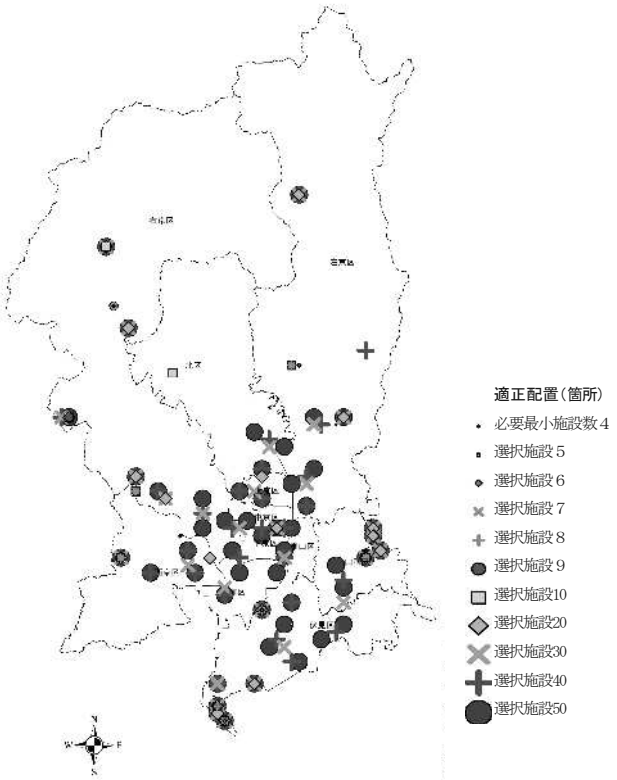

図８ 解析で選択された候補地点の重ねあわせ

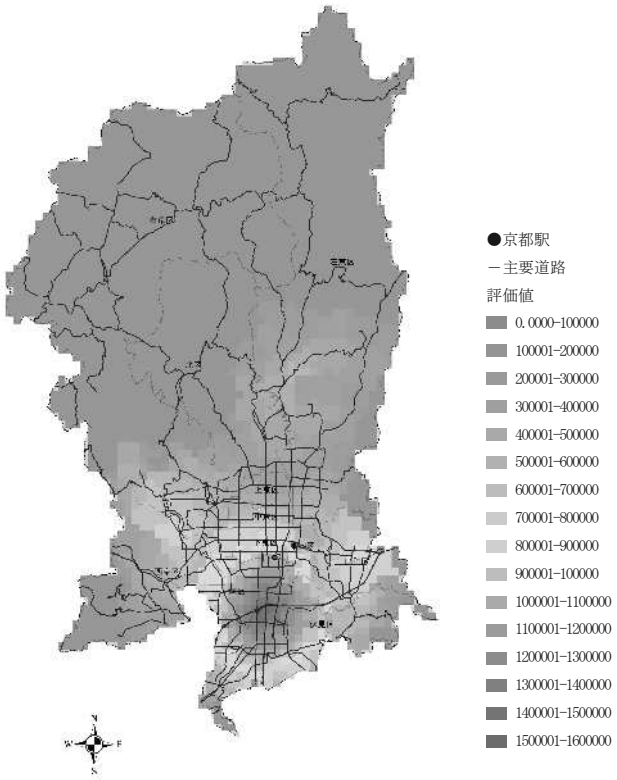

図９ メッシュごとの評価値

＊1　立命館大学大学院理工学研究科　博士課後期課程
＊2　中央大学理工学部　助教・博士(工学)
＊3　立命館大学大学院理工学研究科　教授・工学博士