

# 夜間光データを用いた都心抽出の可能性

永江 大右<sup>1</sup> 中村 太一<sup>2</sup>・紀伊 雅敦<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 香川大学大学院工学研究科 (〒761-0396 香川県高松市林町 221-20)

E-mail:s17g407.stu.kagawa-u.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 岡山大学 施設企画部 施設整備課 (〒700-0082 岡山県岡山市北区津島中 1-1-1)

E-mail:nakamura-t2@adm.okayama-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 香川大学准教授 工学部安全システム建設工学科 (〒761-0396 香川県高松市林町221-20)

E-mail:kii@eng.kagawa-u.ac.jp.

都心は都市活動が集中する場所であり、都市開発や交通政策を分析する上で把握することが必須の要素である。しかしながら、都心の定義は必ずしも明確ではなく、大都市では複数の都心が形成されるといわれているが、都心はしばしば経験的に位置や範囲を与えられるか、あるいは大規模な交通調査に基づき通勤交通や業務交通が集中する場所として設定される。成長の著しい途上国都市では、都心の形成は動的に進展しており、都市・交通政策の分析評価のためにも、より簡便で即時的な都心の把握方法が必要である。

本研究では、人工衛星により観測される夜間光データを用いた都心抽出の可能性を検討する。このため、交通 OD データが公開されている日本の 3 大都市圏を対象として、集中交通量に基づき都心ゾーンを定義し、夜間光データによる判別を行った。その結果、ゾーンレベルで集計された夜間光データに一定の都心判別性能があることが示された。また、この判別基準をグリッドレベルで適用した結果、ゾーンレベルでは必ずしも都心とは判別されない郊外核についても抽出できる可能性が示された。

**Key Words:** polycentricity, urban core, person trip survey, night time light

## 1. はじめに

### 1.1 研究背景と目的

現在、全世界で都市化が進行しており、2008 年には世界人口の半数が都市部に居住するようになった。都市は経済活動、政治、文化などが集中する場所であり、都心はその活動の中心である。そのため、都市開発や交通政策を分析・評価するためには、人の流れの集中する都心の形成・配置を把握することが不可欠である。しかし、その都心を把握する一般的な方法は確立しておらず、経験的にその位置や範囲を与えるか、大規模交通調査に基づき交通の集中する場所として定義されてきた。しかし、成長の著しい途上国都市では、都心の形成は動的に進展しており、また、大規模交通調査は高コストのため高頻度を実施することは困難である。このため、都市・交通政策の分析評価のためには、より簡便で即時的な都心の把握方法が必要と言える。

本研究では、人工衛星により観測される夜間光データを用いた都心抽出の可能性を検討することが目的である。近年、夜間光センサーの空間解像度と観測強度レンジが向上し、都市域内の夜間光強度の差異を識別できる可能性がある。そこで、日本の 3 大都市圏を対象に、交通

OD データに基づき定義される都心ゾーンを教師データとして、夜間光データによる判別性能を検証する。また、判別条件に基づき、より空間分解能の高い夜間光メッシュでの都心判別についても試みる。以上により夜間光データに基づく都心抽出の可能性を検討する。

## 2. 既往研究と研究の位置づけ

### 2.1 統計データを用いた都心把握に関する研究

都心の位置を把握するための定量的な方法として、これまで、人口・事業所数等の推移やパーソントリップ調査データといった統計データに基づくものが提案されてきた。統計データは、実際の住民の活動を観測し、その地域の特性的な詳細な分析に用いることが可能である。特に、パーソントリップ調査はある地域における人の移動を目的、交通手段についてまとめたものであり、どの目的でどこに人の流れが集中しているか調べることができ、都心の位置を把握するうえで重要なデータである。

石川<sup>1)</sup>は、パーソントリップ調査データに基づき都市圏域内の多核化の動向を分析している。この研究では、通勤目的、消費・余暇活動の各目的について各ゾーンの流入流出数を分析し、一定数以上の流入超過を示すゾーン

を就業、消費機能の集中する核として抽出している。分析の結果、大規模な流入超過を示すゾーンが経験的に把握されている都心域に集中する傾向があることを明らかにしている。

能登ら<sup>2)</sup>は和歌山市を対象地域に、人口・世帯数の推移、新築建築物数、人口増加率、平均年齢から市民生活の中心地となりうる地点の判定を行っている。判定された地点と実際に市が指定した地域核の立地と比較し判定方法の妥当性を検証している。

このように、交通に関わる統計データや、人口動態や建築動態に基づき定量的に都心部を把握する方法に関する研究は存在するが、こうした統計が不十分な小都市や途上国都市ではデータ収集に多大な労力が必要とされる。

## 2.2 リモートセンシングデータを用いた研究

各種リモートセンシングデータの普及に伴い、それらを用いて地域構造の分析を行った研究がいくつか行われている。

Taubenböck et al.<sup>3)</sup>は、人工衛星により観測されたりリモートセンシングデータ (AERONET, field spectrometer, and MODIS data) から、建物高さ、建築容積、高層建物密度を算出し、中心的商業地域 (CBD) の判定を行っている。ただし、この研究で定義された CBD は、既往研究をもとに国際的な金融センターを有する都市をヒューリスティックに選択したものであり、統計データ等から判別されたものではない。

一ノ瀬ら<sup>4)</sup>は夜間光衛星データ DMSP を、NOAA の膨大なアーカイブより、アジア地域における 3 時点で時系列 (1992~1993, 1996, 1998 の 3 時点において) で解析した。開発の進む地域での光強度、面積の増加や日本海における漁船の分布の変化などを捉え、夜間光データが経済活動の度合いを示す指標の一つとなることを提案した。しかし、この研究では、州・国単位での分析を対象としており、都市内の構造等については考慮されていない。

高島ら<sup>5)</sup>も DMSP を用い、その夜間光強度を人口メッシュデータと比較し、都市圏の同定方法を提案している。

## 2.3 本研究の位置づけ

以上の既往研究から、リモートセンシングデータは空間的に統計データを補間しうる可能性が考えられる。本研究では、近年データ蓄積が進む新たな夜間光データ VIIRS-DNB の夜間光強度とパーソントリップ調査データを比較し、夜間光データによる都心抽出の可能性を検討する。対象地域はパーソントリップ調査の OD データが公開されている日本の三大都市圏とする。これにより夜間光による都心抽出が可能となれば、対象データは世界のほぼ全陸域を対象としていることから、パーソントリップ調査等の交通統計等が整備されていない都市におい

ても、都心の特徴を把握することが可能となる。

具体的な方法として、まず、パーソントリップ調査に基づき石川と同様の方法で都心部を同定し、夜間光データによる都心部の判別性能を検証する。

## 3. 使用データ

### (1) パーソントリップ調査データ

パーソントリップ調査データ (以降 PT データ) は、国土数値情報ダウンロードサービスで提供されているものを使用した。このデータは、小ゾーン単位で目的・交通手段別の集中量、発生量を格納したデータである。現在は、日本の 3 大都市圏 (東京都市圏、近畿圏、中京都市圏) について公開されている。データ詳細について表 1 にまとめる。

### (2) 夜間光データ

夜間光データ、NOAA ホームページ、「VIIRS DNB Cloud Free Composites」から日本が含まれる範囲のデータをダウンロードし、適宜必要部分を抽出して使用する。VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) は、地上からの夜間光の放射輝度を月単位で平均したものである。本研究では 2015 年 1 月のデータを使用する。また、データには迷光による影響を除いたものと含むものの 2 種類が存在するが、本研究ではより広い範囲で整備されている後者を選択した。

地域	作成年度	調査年	交通目的	交通手段	判別を行うゾーン数
東京都市圏	平成22年度	平成20年	出勤、登校、自由、業務、帰宅	鉄道、バス、自動車、二輪、徒歩	599
京阪神都市圏	平成24年度	平成22年	出勤、登校、自由、業務、帰宅	鉄道、バス、自動車、二輪、自転車、徒歩、その他	432
中京都市圏	平成25年度	平成23年	出勤、登校、自由、業務、帰宅、不明	鉄道、バス、自動車、原付バイク、自転車、徒歩、不明	231

表 1 使用した PT データの詳細

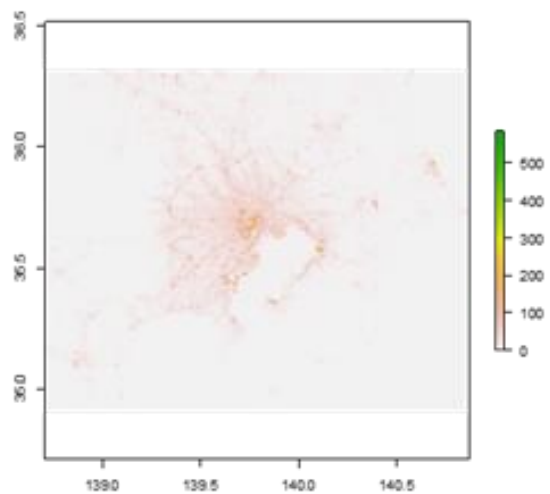


図 1 収集した夜間光データの例 (東京都市圏)

#### 4. PT データによる都心の判定

本研究では石川らの研究に基づき、パーソントリップ調査データを用いて都心を定義する。まず、都心は居住以外の機能が卓越する場所であると想定し、帰宅目的のトリップをデータから除いて、各ゾーンの発生・集中交通量を集計した。次に、集中交通量から発生交通量を引いたものを純流入交通量とする。ここで、帰宅目的は除いているので、例えば通勤目的の交通が集中するゾーンでは、純流入交通量は正となる。PT データはゾーン単位の集計であり、面積はゾーンにより異なるため、集計値を面積で除すことで、単位面積あたりの純流入交通量を算定した。最後に石川の定義に基づき、純流入交通量が、その平均+標準偏差以上となるゾーンを都心ゾーンとして抽出した。東京都市圏、京阪神都市圏、中京都市圏における抽出された都心ゾーンをそれぞれ図2に示す。東京都市圏 (a) では千代田区、中央区、港区などの東京都特別区で多くのゾーンが都心として抽出されているが、それに加えて、横浜市、千葉市、埼玉市の一部が抽出されており、多核的な構造が読み取れる。京阪神都市圏 (b) では京都、大阪、神戸の中心部が都心部として抽出されている。中京都市圏 (c) では、都心部として抽出されるのは名古屋中心部のみであり、この定義に基づく単一中心であることがわかる。以降ではこれらのゾーンを都心と設定し分析する。

a) 東京都市圏



b) 京阪神都市圏



c) 中京都市圏



図2 PTデータから判定した都心部

#### 5. 夜間光データによる都心部の判別

まず、前節で定義した純流入交通量と夜間光強度の関係を見た上で、夜間光データによる都心の判別可能を分析する。

##### 5.1 純流入交通量と夜間光強度の関係

まず、純流入交通量はゾーンごとの面積あたりの値であることから、夜間光についてもPTデータの小ゾーンごとに集計し、それを面積で除することにより、面積当たりのゾーン平均の夜間光強度を算定したものをを用いる。

東京都市圏、近畿圏、中京都市圏における、横軸に純流入交通量、縦軸に夜間光強度を取った散布図をそれぞれ、図3に示す。

図を見ると、人の移動の集中と夜間光の強度には正の相関があることが読み取れる。また、どの地域においても、夜間光の強さが小さいうちは、流出入量は大きく変化しないが、夜間光の数値がある程度大きくなると、流出入量が急激に大きくなる傾向がみられる。

##### 5.2 判別分析

PTデータによって分類されたゾーンについて、夜間光データからゾーン単位で判別が可能か判別分析を用いて検証する。ここでは、1変数による判別のため、分類境界値を次式を用いて求める。

$$x_0 = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2}$$

$x_0$  = 境界値,  $\mu_1$  = 1群の平均値,  $\mu_2$  = 2群の平均値

算出された境界値を表2に示す。

表 2 夜間光の境界値

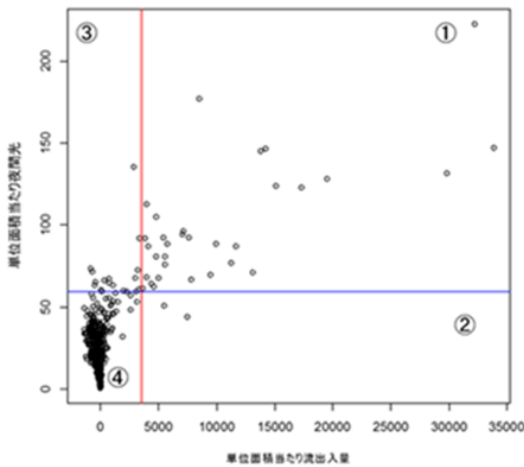
地域	境界値
東京都市圏	59.461
京阪神都市圏	39.6808
中京都市圏	71.5392

また散布図に判別境界を記入したものを図3に示す。散布図内の赤線は石川の研究を参考にしたPTデータにおける都心部判定の境界値、青線は判別分析から算出した夜間光データにおける境界値を表している。

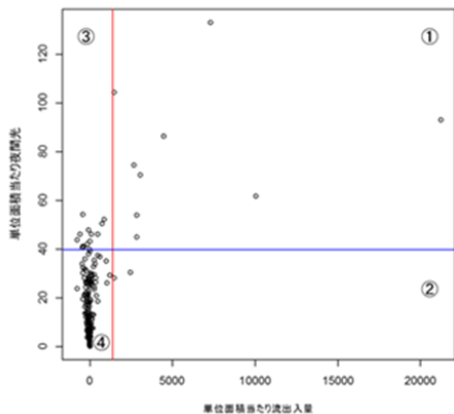
この二つの境界値により、各地域内のゾーンは①PTデータ、夜間光データどちらの判別でも都心部と判別されるゾーン（右上の区域）、②PTデータによる判別の場合のみ多都心部と判別されるゾーン（右下の区域）、③夜間光データによる判別の場合のみ都心部と判別されるゾーン（左上の区域）、④PTデータ、夜間光データどちらの判別でも都心部ではないと判別されるゾーン（左下の区域）、の4種類に分類される。

また判別結果を示した表を表3に示す

a) 東京都市圏



b) 京阪神都市圏



c) 中京都市圏

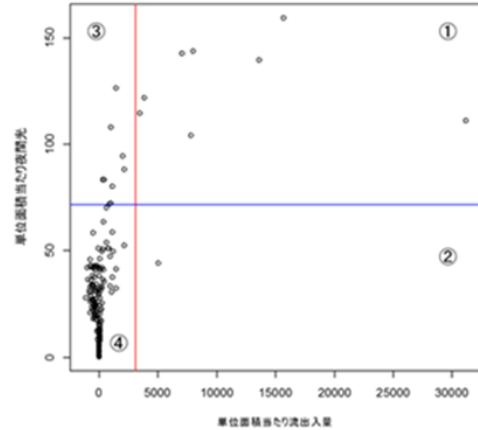


図 3 PTデータと夜間光データと境界値の対応関係

表 3 各地域における判別結果

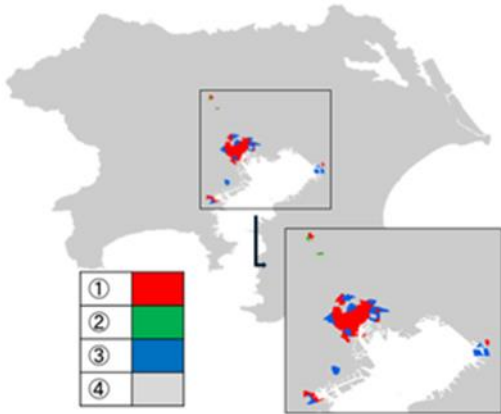
地域	東京	京阪神	中京
全ゾーン数	599	432	231
①どちらの場合も都心部と判断されるゾーン	32	9	8
②PTデータの場合のみ都心部と判断されるゾーン	2	2	1
③夜間光データの場合のみ都心部と判断されるゾーン	17	14	197
④どちらの場合も都心部でない と判断されるゾーン	548	407	213
誤判別率	0.030	0.037	0.043

表は分類されたそれぞれのゾーン数、トリップ数を表している。また、分類②、③は夜間光データによる判別の誤差ととらえることができるため、この合計を全体のゾーン数で割った値を誤判別率として計算し、夜間光データによる判別の精度を検証した。誤判別率が小さいほど判定の精度は高いといえる。

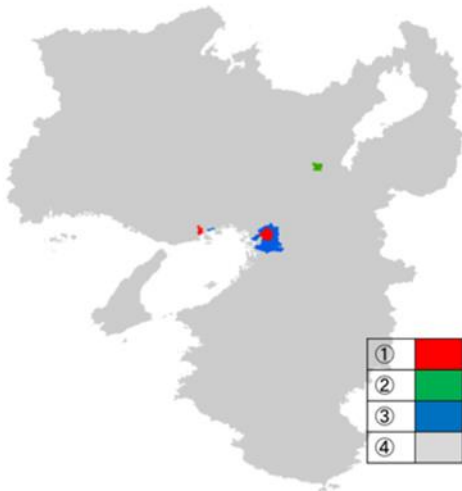
先ほどまでの結果を地図上にプロットしたものを図4に示す。ゾーンの分類①②③④について地図上に示し、それぞれ分類されたゾーンの分布の特徴について検証した。(a)の首都圏のケースをみると、夜間光データによって都心部と判定されるゾーンは、PTデータによって判定されるゾーンの周辺に隣接して分布していることがわかる。また、夜間光データによっては抽出されなかった2ゾーンは埼玉県の大宮駅付近、浦和駅付近の地域であり、駅周辺は高層ビルの多い発展した地域であるが周縁部は住宅街になっており、夜間光の平均値が下がったことによりゾーン単位では都心部と判定されなかったものと考えられる。



a) 東京都市圏



b) 京阪神都市圏



c) 中京都市圏

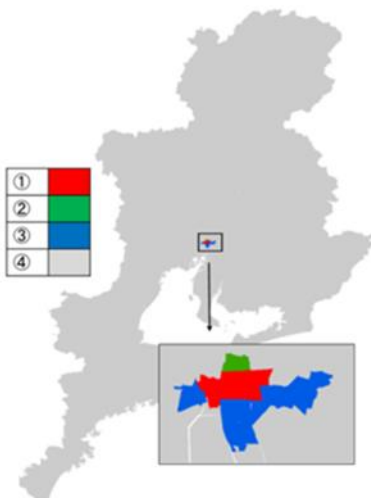


図 4 判別結果のプロット

(b)の近畿圏のケースを見ると、東京都市圏と同様にPTデータによって都心部と判断されたゾーンの周辺に夜間光によってのみ都心部と判断されるゾーンが分布していること

がわかる。また、京都駅周辺の2ゾーンが夜間光では都心部と判断されておらず、これは京都市の景観条例によって華美な看板などの光が制限されていることが影響した可能性が考えられる。

(c)の中京圏のケースでも、ほか2地域と同様の傾向がみられるが、この判定に基づく都心部は首都圏、近畿圏と比較してごく限られたエリアにとどまる。

## 6. 夜間光データを用いたメッシュ単位での都心部の判別

前章ではゾーン単位で都心部の判別を行ったが、本章では夜間光データを用いたメッシュ単位での都心部の判別を行っていく。

### 6.1 データの丸め・閾値の設定

#### (1) 夜間光データの丸め

今回取得した夜間光データは、一辺が約450mのメッシュデータであるが、メッシュ毎の値であり、パーソントリップゾーンと比べて空間的に詳細な情報となっている。一方、都心部は一定のエリアを持っていると考えられ、その内部でも強度の強い場所と弱い場所があると推察される。一方、都心ではないにもかかわらず特異的に光強度が高いメッシュも存在すると考えられるが、その場合には、必ずしも都心部と判定することは適切ではない可能性がある。そこで、周辺メッシュの値と平均化することで、より適切に都心部を把握できる可能性があると考えられる。ここでは、平均値フィルタを適用し分析を行った。今回は、フィルタの範囲を半径0m、500m、1000mの3つのケースについて分析した。

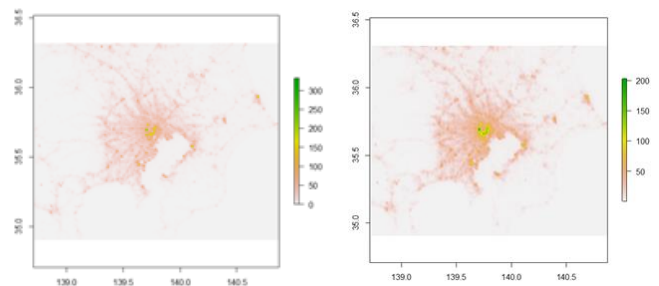


図 5 丸めを行った夜間光データ（東京都市圏  
左：半径500m、右：半径1000m）

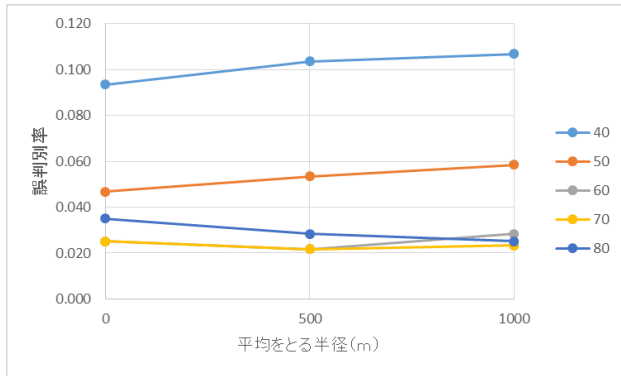
#### (2) 閾値の設定

作成したデータに対して閾値を設定し、閾値以上の夜間光強度を持つメッシュを都心部として抽出する。閾値については、第5章の判別分析の結果を参考に、40~80の範囲で10刻みに設定した。

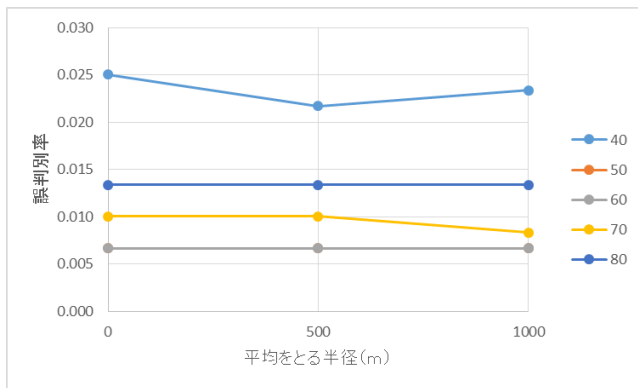
(3) 最適な平均距離と閾値の判定

設定した平均をとる半径、閾値について、どの組み合わせが最も高い精度で都心部を判別しているかの分析を行った。

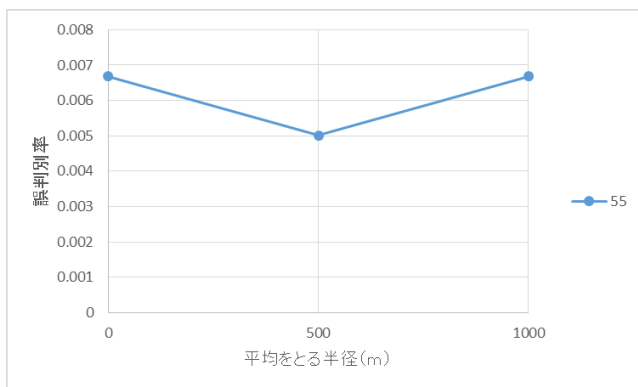
a) 東京都市圏



b) 近畿都市圏



c) 近畿都市圏 (閾値 55 の場合)



精度の判定方法は、まず夜間光データの閾値によって都心部と抽出されたメッシュを PT データの各ゾーンで集計し、ゾーン内の過半数のメッシュが都心部と認定された場合、そのゾーンは都心部として抽出されたことと仮定する。抽出された都心と PT データによって判別された都心部のゾーンと比較して最も誤判別の小さい組み合わせを求めた。そ

の結果を図 6 示す。なお、判別の精度は PT データによる判定と異なる判定がなされたゾーン数の合計を全体のゾーン数で割った誤判別率で表した。

(a)より東京都市圏においては、半径 500m で平均をとり、閾値を 60, 70 に設定したものが最も高い精度を示した。(b)より近畿圏においては、閾値を 50, 60 に設定した場合、平均をとる距離にかかわらず最も精度が高いという結果であった。そのため、閾値を 55 に設定し、再度制度の検証を行った。結果を図(c)に示す。検証の結果、平均をとる半径を 500m, 閾値を 55 に設定した場合、判定の精度が最も高くなることが分かった。

d) 中京都市圏

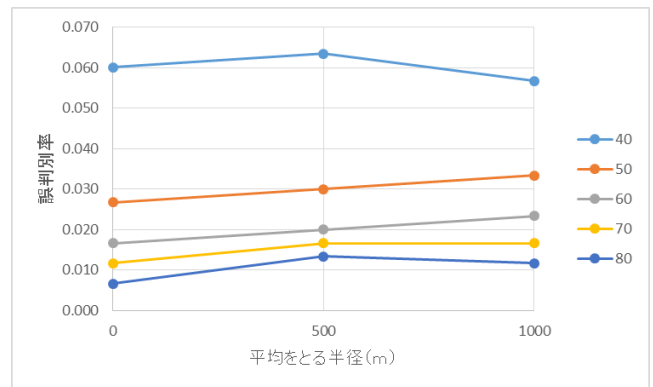


図 6 平均半径と閾値ごとの誤判別率

(d)の中京都市圏においては、ほかの地域では閾値が 60 付近で精度が最も高くなるのに対し、平均をとる範囲が 0m, 閾値が 80 の場合が最も精度が高いという結果になった。

6.2 夜間光データを用いた都心部の抽出

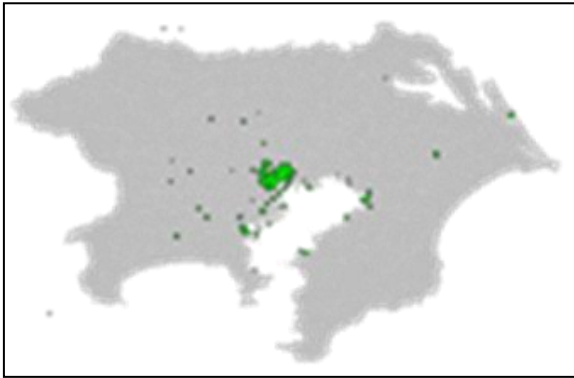
(1) メッシュ単位での都心部の抽出

前項の判定の結果から、実際に平均をとる半径、閾値を設定して都心部の判定を行い、実際に都心部となる場所の判定が可能か調べる。

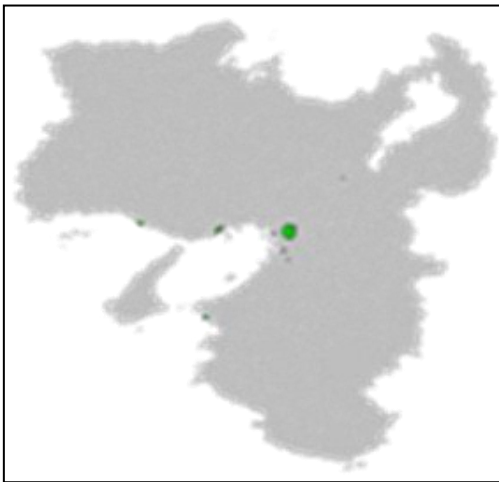
前項 (3) の東京都市圏と近畿圏における検証の結果では、平均をとる半径を 500m に設定すると判定の精度が上がる傾向がみられた。また、同検証から夜間光の閾値が 60 前後のとき、判定の精度が最も高くなることがわかった。中京都市圏においては、その傾向がみられなかったが、平均をとる半径が 500m, 閾値を 60 に設定した場合の誤判別率は同条件の東京都市圏の結果と同程度であることから、十分な精度が得られていると判断し、本研究ではこの半径と閾値を採用することとした。

実際に夜間光データについて半径 500m で周囲の値との平均をとり、値が 60 以上のメッシュを都心部として判定を行った結果を図 7 に示す。緑に色付けされたメッシュが都心部と判断されたメッシュである。

a) 東京都市圏



b) 京阪神都市圏



c) 中京都市圏



図 7 都心部の判定結果

(a)を見ると、東京都市圏ではPTデータで判別された特別区や周辺の県の中心地以外にも、多数のメッシュが都心部として判定されていることがわかる。また、近畿圏や中京都市圏においても、PTデータで抽出された都心部のほかに、周辺のメッシュが数か所都心部として抽出されてい

ることがわかる。

(2) 判定されたメッシュの検証

(1) で抽出されたメッシュが本当に都心部といえる場所であるか、実際のその地点の特徴と照らし合わせて検証を行った。

都心と判断されたメッシュの地点と特徴を図8に示す。

夜間光データを用いて、PTデータで都心部と判断された場所を、同様に都心部と判断することができた。具体的には、東京都市圏における東京都特別区、近畿圏における大阪市周辺、中京都市圏における名古屋市の中心部などである。また、PTデータのゾーンごとの判定では抽出できなかった、その地域において中心的な機能を持つような場所をメッシュ単位で抽出することができた。

しかし、誤って判定されたメッシュも存在した。誤って判断された場所の特徴にはいくつかのパターンがあり、高速道路のインターチェンジ付近、湾岸部の工業地帯、空港周辺などがあげられた。インターチェンジは周囲に生産工場などがある場合が多く、それらの光が結果に影響したものと考えられる。

a) 東京都市圏



b) 京阪神都市圏



## c) 中京都市圏



図8 抽出された地点の特徴

工業地帯や空港なども、同様に夜間も強い光を放っており、都心部と誤って判断されたことが推測できる。ただし、工業地帯や空港は都心と比べて交通の集中度は小さいものの、主要な従業地であったり人が集まる地点であることから、都市構造を把握する上で重要な情報となり得る。

こうした情報については、夜間光のみに依存するのではなく、様々な位置情報と組み合わせて、都心と判断される地点の特徴を推測することで、都市分析に有益な情報を提供しうると考えられる。

## 7. 結論

本研究の成果と、今後の課題について以下に示す。

### 7.1 本研究の成果

#### 1) パーソントリップ調査データと夜間光データの対応関係調査

PTデータのゾーンへの流出入量と夜間光データの対応関係についてゾーンの面積を考慮したうえで調査し、両者の間に正の相関があることを明らかにした。その中で、夜間光の強さが小さいうちは、流出入量は大きく変化しないが、夜間光の数値がある程度大きくなると、流入超過数が急激に大きくなる傾向を発見した。

判別分析によって境界値を設定し、夜間光データを用いてゾーン単位での都心部の判別を試みた。その結果、PTデータによって都心と判断されるゾーンや、その周辺のゾーンを都心部として判別することができた。

#### 2) 夜間光データを用いたメッシュ単位での都心部の判別

ゾーン単位での分析によって得られた判別基準を用いて、メッシュ単位での都心部の判別を行った。その結果、東京都市圏における特別区といった代表的な都心部だけでなく、

ゾーン単位の判別では抽出されなかった、地域の中心的な役割を持つ地点についても都心部として抽出することができた。同時に、工業地帯や空港といった夜間にも強い光を放っている地点を都心部として抽出してしまう誤差も見られたが、こういった地点は就業機能や人の移動が集中する場所でもあり、ほかの様々な情報と組み合わせることで都市構造を分析する有益な情報となりうる可能性を示した。

### 7.2 今後の課題

今回の夜間光による都心部の判定には誤差がふくまれ、夜間光の平均値をとる範囲や閾値の設定には改善の余地がある。また、今回は夜間光データのみでの判定を行ったが、ほかのリモートセンシングデータを取り入れることで、より高い精度で都心部の判定が行える可能性が考えられる。

謝辞：本研究は科研費（15H02869）による成果の一部である。

### 参考文献

- 1) 石川雄一：京阪神大都市圏における多角化の動向と現状,地理学評論 Ser. A Vol. 69 (1996) No. 6 P 387-414, 1996
- 2) 能登俊平,西田拓矢,小川宏樹,長宗我部まどか：地方都市における多核型都市構造の地域核の立地条件に関する研究,学術講演梗概集 2015(都市計画), 813-814, 2015-09-04, 2015
- 3) H. Taubenböcka, M. Klotza, M. Wurma, J. Schmiederb, B. Wagnerb, M. Woosterc, T. Escha, S. Decha :Delineation of Central Business Districts in mega city regions remotely sensed data,Remote Sensing of Environment Volume 136, September 2013, Pages 386 - 401,2013
- 4) 一ノ瀬 俊明, 松村 寛一郎, 中谷 友樹, 中野 泰臣 Chris ELVIDGE：夜間光衛星画像データ DMSP によるアジアの地域別経済活動強度推定,地球環境シンポジウム講演論文集,2011Vol. 10 (2002) P 299-303
- 5) 高島正典,林春男：DMSP 夜間可視画像を用いた広域都市圏の同定と地震被害ポテンシャルの推定,地域安全学会論文集 (4), 151-158, 2002-11, 2002
- 6) 国土数値情報ダウンロードサービス：<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>
- 7) NOAA ホームページ：<https://www.ngdc.noaa.gov/ngdc.html>



## STUDY ON EXTRACTION OF URBAN CENTRAL AREA USING NIGHT TIME LIGHT REMOTE SENSING DATA

Daisuke NAGAE, Taichi NAKAMURA and Masanobu KII

Urban central area is a place concentrating urban activities where is essential place to be recognized for urban development and transport policy. However the definition of urban central area is not necessarily clear and it is usually given heuristically or given based on large scale transportation survey. Large cities in developing countries which is growing rapidly forms urban centers dynamically. For the analysis of urban and transport planning, a simple and prompt responsible method for capturing urban centers is needed.

Purpose of this study is to examine the applicability of night time light remote sensing data to the extraction of urban centers. Targeting at Japanese three metropolitan areas, Tokyo, Osaka and Nagoya where large scale origin-destination survey data is published, the performance of determination of urban centers by night time lights is examined by comparing with the destination trip demand. As a result, the night time light data is clarified to have a certain level of performance to distinguish urban centers. Applying this discrimination function to the grid level night time light data, several satellite centers in suburban area are also determined which are not selected in the zonal level analysis.