5ZF-2

携帯基地局間情報から見たコートジボワール社会の分析

川崎 亮* 脇田 建†

1 はじめに

本稿はフランステレコム／コートジボワール Orange 社から提供された同社の携帯電話の通信履歴に関するデータを用いた調査結果を報告する．本研究の目的は，携帯電話の通信履歴を元に，単なる利用行動を離れ，人々の動きや都市の構造を読み取ろうとした点にある．

本研究で利用した二種の通話データ Set1, Set2 は，いずれも 2011 年 12 月 5 日から 2012 年 4 月 22 日までの 20 週間にわたる期間に収集されたものである．前者は 1 時間毎の基地局間の通話量で，後者は 2 週間ごとに無作為に抽出された 5 万人の基地局利用履歴であり，基地局と時間が取得できる．各基地局の地理的位置情報が提供され，Set2 に出現するユーザの情報は匿名化されている．

それぞれのデータを調査したところ，個別の基地局や一定の範囲内の基地局が稼動しない期間があることがわかった．

2 主要都市の位置と規模の推定

本節では基地局間の通話量データ (Set1) を用いて主要都市群を同定し，それぞれの規模を推定することを目標とする．このデータに含まれる基地局は約 1,200 箇所である．基地局を頂点とし，基地局間で少くとも一回の通話があった場合に辺を設定することで構成される無向グラフはほぼ完全グラフとなるためグラフクラスタリングも有効ではない．

そこで，前述のグラフの辺に通話回数に応じた重みを適切に設定することによって，利用頻度の高い基地局対を抽出することを試みた．素朴な方法としては，基地局間での通話量を単純に重みとする方法が考えられるが，そのままではそれぞれの基地局が覆う地域（以後，**基地局圏**）の人口差を無視してしまうという問題が生じる．

したがって，われわれは (1) 人口の多寡に応じて通話量が増減すること，(2) 同一都市内の基地局間の通話はそうではない基地局対より多いことを仮定し，基地局間の通話量をそれぞれの基地局圏の人口の積で正規化することで，基地局間の関連性を抽出できると考えた．すなわち，基地局間の関連性 ($w_{i,j}$) を次の式で与えることとした：$w_{i,j} = t_{i,j}/(N_i \times N_j)$．ここで，$t_{i,j}$ は基地局対間の通話回数，N_i は基地局 i が覆う地域の人口を表す．

ところで，基地局圏の人口 N_i はデータから与えられていないが，前述の式を変形すれば $N_i = \sqrt{t_{i,i}/w_{i,i}}$ と表される．ここで同一基地局圏間の関連性を一定と仮定すれば N_i を $\sqrt{t_{i,i}}$ と見なすことができる．よって，$w_{i,j} = t_{i,j}/\sqrt{t_{i,i} \times t_{j,j}}$ を辺の重みとした．

表 1: 主要都市とその規模の推定

推定された規模		人口統計	
Abidjan	(15,530)	Abidjan	(3,692,570)
Bouaké	(2,901)	Bouaké	(572,149)
Yamoussoukro	(2,889)	Daloa	(217,876)
San-Pédro	(2,588)	Yamoussoukro	(200,659)
Daloa	(2,261)	San-Pédro	(195,873)
Abengourou	(1,912)	Divo	(184,481)
Man	(1,826)	Korhogo	(172,114)
Korhogo	(1,684)	Anyama	(158,250)
Soubré	(1,636)	Abengourou	(144,074)
Dabou	(1,553)	Man	(140,217)

このような計算で，基地局対のうち関連性の高いものを抽出した．これらのうち地理的近接性についての閉包をとることによって，都市を構成する基地局集合を同定した結果を人口統計と比較したものが表 1 である．

この分析で用いたデータは基地局間の通信頻度の情報のみであり，それをもとにいくつかの大きな仮定を置いた上で推定したにも関わらず，われわれの結果は人口分布の実態を比較的正確に予想している．予想が外れた点については，昼間人口と夜間人口の差，携帯電話の普及が年齢層に偏りがある点，コートジボワールには深刻な南北問題および経済格差があり，それが携帯電話の所持率や利用率に影響を及ぼすこと，コートジボワール紛争に至るまでの国籍喪失事件の影響から人口統計の精度に疑問の余地があることなどが挙げられる [1].

3 都市内の人口動態推定

前節ではコートジボワール国内の都市とその規模を分析した．本節では Set2 のデータを利用して，都市内における人々の移動の様子から，同国最大の都市である Abidjan 市の動態を調査することを目標とする．

この調査を始めるにあたって以下に概説する NTT ドコモ社によるモバイル空間統計手法 [2] を参考にした．この手法では各端末が各時間帯ごとに利用した基地局のデータをもとに，個別の端末ごと，時間帯ごとの基地局圏への滞在時間を

* 東京工業大学理学部情報科学科
† 東京工業大学大学院情報理工学研究科/JST CREST

Copyright ©2013 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

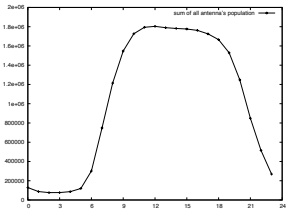


図 1: Abidjan 市における在圏数の総計の時間変化

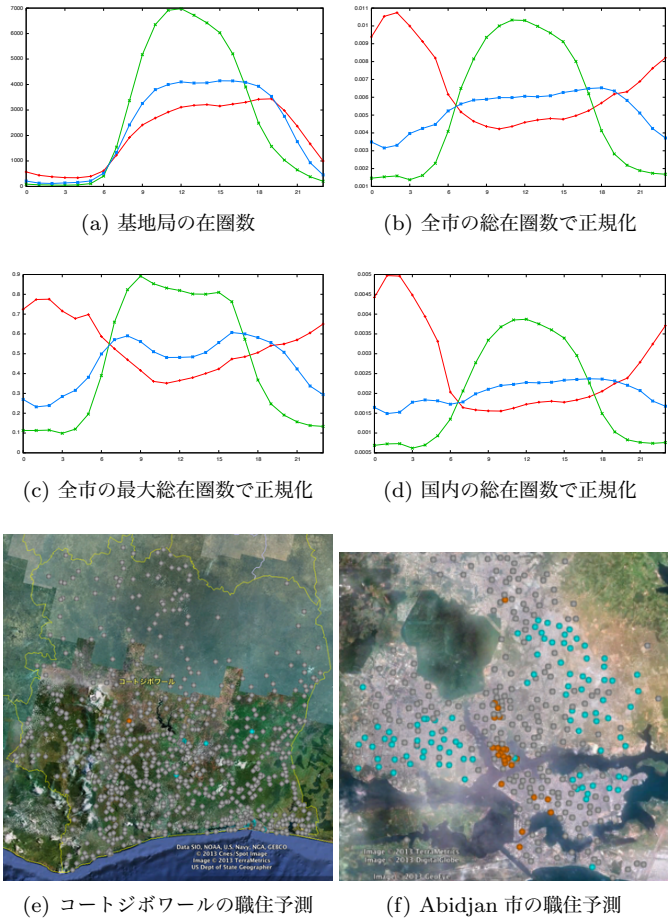
求め，各基地局について時間帯ごとの**在圏数**，すなわち基地局圏に存在する端末数を予測する方法を試みている．ここで問題となるのは，端末の正確な在処が把握できない点である．そこで [2] では，滞在時間を知りたい所在情報の前後の所在情報との間隔の平均をその所在情報に対する滞在時間の期待値として用いている．この調査においても同様の手法を用いて在圏数を求めた．

コートジボワールは日本と比べて携帯網が未発達なため，携帯基地局密度はかなり低く，精度の高い議論は難しい．[*1] また，今回のデータでは通話・メールがあった場合のデータのみが記録されており，基地局の探索のためのパケットなどは含まれておらず，端末の所在情報の間隔が大きく隔たる傾向にある．たとえば，前述の方式を単純に応用すると，職務先で電話をしてから翌日まで電話をしなかった場合，この人物が帰宅していないと推定してしまう．本研究では，二つの連続する所在情報の時間間隔が 6 時間を越える場合には，所在時間の予想にこれらの時間間隔を用いず，所在不明として扱った．

以上の修正を経て，図 1 は，Abidjan 市の全基地局についての在圏数を合算したものであり，横軸は 0 時より 24 時までの時間，縦軸は予測した在圏数である．この図は Set2 全体に含まれる 20 週分のデータをすべて利用して計算したものである．

Abidjan 市内の基地局のうち 3 局について在圏数を予測したものが図 2-(a-d) である．それぞれ (a) 基地局の在圏数，(b) それを同一時刻の全市の在圏数の合計で正規化したもの，(c) 全市の在圏数の合計で一日にわたって最大のもので正規化したもの，(d) 同一時刻の全国の在圏数の合計で正規化したもの，である．

図 2 の (b),(d) を見ると緑線，赤線で示された基地局で昼間人口と夜間人口に大きな差がある．この観察を踏まえ，一日の人口変動を特徴化し，職場圏（橙色），居住圏（水色），その他（灰色）に分類したものが図 2-(e,f) である．全国で見るとほとんどの基地局圏は灰色に着色されている．これは，多くの地方の基地局圏で職住接近している傾向を表しているものと解釈できる．別な解釈として，解析精度が不十分なために不正確な結果を与えている可能性もあり，今後の検討が求められる．Abidjan 市については，中心部が職場圏，周辺部が居住圏と分離され，郊外から中心部に移動する都市型の労働スタイルである．



(a) 基地局の在圏数　(b) 全市の総在圏数で正規化

(c) 全市の最大総在圏数で正規化　(d) 国内の総在圏数で正規化

(e) コートジボワールの職住予測　(f) Abidjan 市の職住予測

図 2: 三つの基地局圏に対する在圏数予測 (a-d) と基地局圏の職住予測の結果 (e,f)

4 まとめ

基地局の数や通信頻度のデータが極めて粗い悪条件下においても，大局の分析ができた点は大きな成果であるが，細部の解析については問題点が残る．今後は民族分布や言語群を始めとする，文化的な側面の分析を実施したい．

謝辞

本研究は JST CREST の研究課題「ポストペタスケールシステムにおける超大規模グラフ最適化基盤」の支援により行った．本研究で使用しているデータはフランステレコム／コートジボワール Orange 社より “D4D Challenge” の枠組みにおいて提供されたものである．

参考文献

[1] 佐藤章（編）. 紛争と国家形成 アフリカ・中東からの視角, 第 6 章：人口の管理という国家形成の課題. アジア経済研究所, 2012.

[2] 寺田雅之, 永田智大, 小林基成. モバイル空間統計における人口推計技術. NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル, Vol. 20, No. 3, pp. 11–16, October 2012.

*1 日本の携帯基地局密度は 1.04 局/km^2 に対し，今回のデータは 0.00382 局/km^2

Copyright ©2013 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.