

## 新興国におけるスマーター・シティー事例： ケニアの frugal 交通ソリューション



IBM 東京基礎研究所 (IBM Research-Tokyo)  
インダストリーズ・リサーチ  
スマーター・シティー・ソリューション  
シニア・マネジャー  
吉濱 佐知子

### 【プロフィール】

2003年日本 IBM 入社。以降、主に情報セキュリティの研究を行う。  
2011年より新興国向け研究戦略の策定を担当、2013年2月より現職。

### 1. アフリカが抱える都市の課題

アフリカと言うと、どんな場所を思い浮かべるでしょうか？多くの日本人にとってアフリカという場所はそれほど馴染みがなく、広大なサバンナが広がるライオンやキリンの野生の王国、広大な砂漠やジャングルの多い未開の土地、といったイメージが強いのではないのでしょうか。

しかし実際には、近年アフリカでは急激な経済成長が進み、同時に都市への人口の流入が続いています。南アフリカの首都ヨハネスブルグ（人口約 367 万人）やナイジェリアのラゴス（人口約 1,000 万人）をはじめ、人口 100 万人を超える大都市が 50 以上あり、比較的開発の遅れているサハラ以南アフリカでも、人口の約 36% が都市部に住んでいます。

急激な都市化が進む一方で、都市のインフラはまだまだ未成熟のため、交通渋滞、電力や水の安定供給、公衆衛生、環境問題、市民サービスのクオリティーなど多くの課題を抱えています。IBM では 2012 年 8 月に全世界で 12 番目となる基礎研究所、IBM Research - Africa（以下、IBM アフリカ研究所）をケニアの首都ナイロビにオープンし、IBM の他の研究所、および現地の政府や大学と協力し、さまざまな問題を解決するための技術開発を行っています [1]。

IBM 東京基礎研究所では、数年来にわたり研究してきた大規模交通シミュレーション技術を生かして、IBM アフリカ研究所と協力し、都市の課題、特に交通の問題に取り組んでいます。しかしアフリカは、さまざまな面において日本とは環境が異なるため、日本の技術をそのまま適用するのではなく、現地の事情に合わせた工夫が必要です。本稿では、限られた予算やリソースの中でソリューションを実現するナイロビでの取り組みについてご紹介します。

### 2. ナイロビの交通事情

ケニアの首都ナイロビは、サハラ以南アフリカの中で最も大きな都市の一つで、人口が都市圏で約 350 万人と、横浜市に匹敵するほどの規模があります。多くの新興国と同様、ケニアでも農村地域から都市への人の移動が続いており、しかも国全体の人口が増加していることもあって、都市の人口が増えてきています。

また、自家用車を所有する中間所得者層が増えているために都市の交通量が増える一方で、道路や公共交通機関などのインフラが整備されていないために渋滞が多く、大きな問題になっています。朝晩のひどい通勤渋滞を避けて朝 9 時の出社時間に間に合うように、6 時前に家を出るといった人も少なくないようです。渋滞による生産性の悪化やガソリンの浪費、大気汚染などは経済的にもインパクトがあり、試算によると毎日 5 千万ケニアシリング（日本円で約 5 千万円、年間約 18 億円）もの損失が発生していると言います \*1。

街には鉄道がありますが、長距離専門のため、低所得者層の多くはバスか、マタツと呼ばれる小型バスを使って通勤します。また、10km 以上もの距離を歩いて通勤する人も少なくないようです。

市内の道路は舗装されており、立派な車道もあります。しかし、中心部と一部の幹線道路を除くと、道はほとんど片側一車線で、舗装の状態もあまり良いとは言えず、年に 2 回の雨期には、排水の仕組みが整っていない場所が多いため、大雨が降ると道が冠水します。また、雨が降ると車を使う人が増えるために、さらに渋滞が悪化して数時間に渡ってまったく車が動かないという麻痺状態がしばしば発生するようです。

\*1 出典：Ministry of Planning, Kenya

### 3. ナイロビでの“frugal”な交通ソリューション

IBM 東京基礎研究所では、IT の力で都市の交通を改善するための、さまざまな取り組みを行っています。本章では、現在フォーカスしている次の3つのソリューションについてご紹介いたします。

- 一般市民向けに交通渋滞状況を伝える道路情報提供サービス
- 交通コマンドセンターにおけるオペレーション支援技術
- 都市計画における意思決定支援ツール

ナイロビをはじめ、新興国におけるプロジェクトでは、“frugal innovation”が重要なコンセプトになっています。“frugal”は「質素な、儉約的な」といった意味ですが、“frugal innovation”は私たちの造語ではなく、最近世界的に認められてきている、流行のコンセプトです。複雑なものを作るのではなく、本当に必要なことを最低限の努力とコストで実現するということが、特に新興国向けのソリューションで重要な概念と考えられています。

一般的に交通状況を改善するためには、まず交通需要や、実際の道路交通量、渋滞の状況などを調査してデータを得ることが必要になります。ここで課題となるのが、日本とナイロビの環境の違いです。日本の場合には3~5年ごとに大規模な交通センサが行われ、道路の状況や交通量が計測されています。また、車両感知器や渋滞センサーにより、車両台数やスピードの計測が定常的に行われています。一方で、ナイロビにはこのような計測のための交通センサーがほとんど存在しないため、交通量を網羅的に把握するのが非常に困難です。とはいえ経済的な問題から、交通センサーを配備することにも困難が伴いますし、メンテナンスのためのコストもかかります。そこで、いかに低コストで既存の情報を生かして交通状況のデータを取得するか、ということがチャレンジになります。

#### 3-1. 低解像度 Web カメラからの交通量検出を可能にする画像処理とアナリティクスの新技術

ナイロビ市内の主要な道路沿いには、AccessKenya という現地企業が設置した Web カメラが既に計 36 カ所にあり、ユーザー・サービスの一環として画像が Web 上で公開されていました(図 1)。Web にアクセスできる人であれば誰でも、これらの画像を見て、道が混んでいるかどうかを目視すること

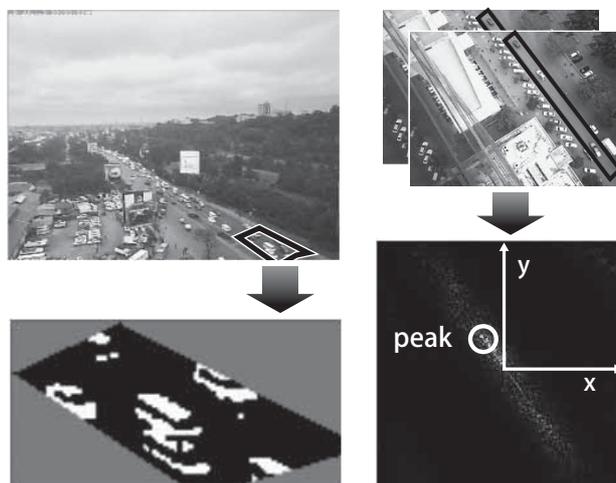


図 1. AccessKenya の Web サイト 出典 : <http://traffic.accesskenya.com/>

ができます。しかし日本と異なり、ブロードバンド・ネットワークが一般家庭へそれほど普及しておらず、スマートフォンの普及率も低いいため、これらの画像を実際に利用できる人はそれほど多くありません。また設置場所が限られているため、出発地から目的地までのすべての道路状況を正確に把握するのも困難です。

私たちは frugal の観点からも、これら既存の Web カメラからのデータを解析して、車両台数や渋滞度、交通スピードを検出することにしました [2]。

画像は解像度が低く、車は豆粒程度にしか映らないので、テンプレート・マッチングなどの一般的なイメージ解析の手法では個々の車を認識することは困難です。また画像はビデオではなく、1~6 秒程度の間隔で静的イメージが更新されるだけなので、スピードを検出することも困難でした。そこで私たちは、このような条件の悪い画像イメージに適した新しいアルゴリズムを新たに開発しました。車両台数の検出(図 2(a))では、画像の中から道路の特定の車線にあたる領域を抽出した上で白黒に二値化し、その割合を過去のデータと比較



(a) 渋滞度の検出 (b) 交通スピードの検出

図 2. 画像処理による渋滞度・スピードの検出

して、観測時の車の台数を推定しています。一見単純な手法ですが、二値化する時の閾値は天気や時間帯などの条件によって変わるため、機械学習的な手法を使って、自動的に最適な閾値を決定する、などの工夫がなされています。図2(b)はスピード検出の例で、2枚の連続したイメージに対して特殊な変換を行って比較することで、その間での物体の移動量を検出し、スピードとして検出しています。

さらに、カメラの設置されている箇所は限られています。アナリティクス技術によってカメラに映らない道路の交通量を推定することで、限られた台数のカメラでより多くの道路状況を把握する技術を開発しています。

### 3-2. 市民への道路情報提供サービス

検出した交通状況を市民の方に情報として提供することで、移動の経路やタイミングの判断に役立てていただくというのが「道路情報提供サービス」で、2013年4月までにすでに2度、現地でのパイロットを行いました。このパイロットでは、市内の主要な道路や交差点を観測点として選び、そこで検出または推定した交通情報を自動的に Twitter 上に投稿し、現地の方に見て利用してもらうことで、その有用性を評価しました。

実はケニアでも交通状況を投稿する専用の Twitter アカウントやハッシュタグが存在します。しかしこれまでのところは、有志の人間が手動で投稿しているものしかなく、網羅性や情報量、リアルタイム性に課題がありました。これに対して私たちは、Webカメライメージの取得から解析、ツイートの発行ま

でを全自動化することで、これらの課題を克服しようとしています。

精度や使い勝手、エリア・カバレッジの点で改善すべきことは多いのですが、パイロットの参加者からは「リアルタイムに交通状況が分かるのは非常に便利」とポジティブなフィードバックを多くいただき、現地でのニーズの高さを感じています。

### 3-3. What-if シミュレーションによる交通オペレーションサポート

ソリューションの二つ目は、交通コマンドセンターにおけるオペレーション支援技術です。

まず、Webカメラから得られた交通情報を地図上に可視化して表示することにより、都市の交通状況を把握することが可能になります。さらに、東京基礎研究所で開発した大規模交通シミュレーター IBM Mega Traffic Simulator[3]により、交通規制などさまざまなシチュエーションで、「もし、こういうアクションをとったらどうなるだろう?」というようなシナリオを想定した What-if シミュレーションを行い、交通オペレーションにおける意思決定を支援することができます [4]。

図3は、洪水発生時の What-if シミュレーションの例です。ナイロビでは雨期には豪雨が降り、しばしば冠水が発生します。冠水した道路に車が入って立ち往生したり、それによって渋滞が悪化したりということが予想されるため、なんらかの対策を取る必要があります。図3の(a)の部分では、地図上に洪水の位置と、洪水発生時の道路状況を示しています。(b)は、何も対策をとらなかった場合に、1時間後にどうなるかをシミュレーションした結果で、幹線道路に大渋滞が発生するという予想を見て取ることができます。

(c)～(e)は異なる位置で交通規制を行った場合の結果をシミュレーションしたものです。地図上に視覚化された交通渋滞の状況から、(e)が最も効果的であろうことが見て取れます。また、エリア内の車の台数、渋滞の長さ、CO<sub>2</sub>排出量などの指標(KPI)によっても、結果を比較することができます。このような事前のシミュレーションにより、実際に交通規制を行う前に、それぞれの案の有効性を評価して、適切な規制を行うことができます。



図3. 洪水発生時の what-if シミュレーションの例

### 3-4. What-if シミュレーションによる都市計画サポート

新興国では急激な人口増加に対応するために、道路の建設や拡張などの都市計画を進める必要があります。前節でご紹介した交通シミュレーションの技術を使って、都市計画における意思決定を支援することができます。ここでは、道路建設計画と、交通に影響を与える法律や規制という2つのシナリオをご紹介します。

#### <道路建設計画：ラウンドアバウトの改造工事>

ナイロビ市内の交差点の多くはラウンドアバウトと呼ばれる環状交差点です。これはイギリス植民地時代の名残で、信号がなく、環状部に侵入してきた車はぐるりと回って、行きたい方角の道から出て行くという仕組みです。信号を設置する必要がなく、信号で止まる必要もないため機能的であるとされており、最近日本でも長野県飯田市で導入され話題になりました。しかし通行できる車の絶対量が少なくなるため、交通量が一定量を超えるとボトルネックになってしまい、交通渋滞を悪化させる要因となります。ケニアでもラウンドアバウトが渋滞の一因であると認識されており、市内の何か所かではラウンドアバウトを立体交差に改造する工事が進められています。

What-if シミュレーションで評価すると、一見して似たような条件のラウンドアバウトでも、交差する道路や隣の交差点の交通量により、改造後の渋滞緩和への影響にかなり差が出るということが分かりました。シミュレーションすることで、直感的には気付きにくい違いを定量的に評価し、適切な建設プランを選択することができます。ラウンドアバウトの改造はナイロビ特有の例ですが、日本の場合でも、道路の建設や拡張工事などの効果を、同様の What-if シミュレーションにより評価することができます。

#### <法律・規制の評価>

二つ目の例は、車の利用に影響を与えるような法律・規制の評価です。これもナイロビ独特の例ですが、ナイロビでは月末になると交通量が増えるという現象があります。というのも、中流階級の人口が増えて車を所有する人が増えているものの、お金があるときや特に必要ときだけ車を使うという人が多いからです。ケニアの場合は歴史的な理由から給料日が月末に集中しており、月末になるとガソリンを買って車を使う人が増えるため、交通量が増加して渋滞が悪化するという現象を多くの人が認識しています。実際に Web カメラで収集した交通量データを見ても、月末には統計的に有意な増加が認められます。

ここで考えられる What-if シナリオは、「もし給料日を月末に集中させないで、規制によって初旬や中旬に分散させたらどうなるか」ということです。収集したデータを基に「給料日効果」と思える交通量の増分を変化させてシミュレーションすることで、このような規制の効果を事前に評価することができます。また、給料日のような日単位の変化ではなく、例えば企業の就業時間をずらすことにより、出勤による渋滞のピークをずらすというようなシミュレーションも可能になります。

このように、What-if シミュレーションにより、街のインフラを「ハード的に」変える道路建設計画や、「ソフト的に」変える法律・規制の計画などを評価することが可能になります。

## 4. おわりに

### ～未来のアフリカを支える都市作りへ

今年、日本政府が主導する第5回アフリカ会議（TICAD-V）が開催されるなど、日本でもアフリカへの注目が高まっています。これまで日本とアフリカの関わりというと、難民支援や援助というイメージが強かったのですが、近年のアフリカの高い経済成長率を見ても、よりビジネス的な方向への転換期にさしかかっていると考えられます。

一方的に支援するのではなく、日本が協力してアフリカの産業を活性化させ、それによって日本経済にも資するということ、今後ますます盛んになるのではないかと考えられます。私たちのチームでも、アフリカの未来を支える都市作りに少しでも役立ちたいと考えています。

..... 謝辞 .....

IBM Mega Traffic Simulator の研究の一部は、科学技術振興機構 CREST および総務省 PREDICT の助成により行われました。

#### [参考文献]

- [1] IBM's "Frugal Innovation" takes Root in Africa. March 29, 2013, Stanford Business. URL: <http://csi.gsb.stanford.edu/ibms-frugal-innovation-takes-root-africa>
- [2] Tsuyoshi Ide, Takayuki Katsuki, Tetsuro Morimura, Robert Morris, "Monitoring Entire-City Traffic using Low-Resolution Web Cameras," to appear in Proceedings of the 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.
- [3] Toyotaro Suzumura, Hiroki Kaneshashi, "Accelerating Traffic Simulation with Adaptive Synchronization Method," to appear in Proceedings of the 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.
- [4] Takayuki Osogami, Hideyuki Mizuta, Tsuyoshi Ide, "Identifying the optimal road closure with simulation," to appear in Proceedings of the 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.