

情流が人流を駆動するとき When Feeling Flow Activates People Flow

笹木 美樹男[†]
Mikio Sasaki

1. はじめに

近年, 2020 年以降の新モビリティの台頭と“利用”市場への大規模な流入が予測され[1], 人の時空間移動に関する価値観も大きく変わろうとしている. 一方で, 人流についても様々な研究が進められている. 都市計画の観点からは「歩いて楽しい, マイカー, シェアカー, 公共交通, 自転車共存できる快適な社会」の実現に向けて, フランスやドイツの地方都市での成功例が多角的に分析されている[2][3][4]. また, 笹木らは危険予知の観点から過去の人流に基づく人発生頻度の予測を試みた[5][6][7]. 他方, 混雑を低減させる人流誘導[8]や購買予測[9], 移動需要場の分析[10]も行われている. 本稿ではこれらの動向を踏まえて移動需要の原点となる“情流”と“環境価値”を提案し, 人流の円滑化手段を模索する.

2. 関連研究

移動需要という観点では人の移動目的は食事, 通勤, レジャー, 買い物, 仕事の 5 カテゴリに大別できるが[10], 近年, 特にレジャーの中でも観光に重点をおいた観光情報学[11]が研究されている.

2.1 観光情報学

観光 2.0[12]はユーザ主導型の観光をサポートする仕組みであり, 従来のサービス主導型のものとは明らかに異なる. 個人適応型の旅行推奨を行うしくみ[13]や観光地そのものの分析・発見を行う手法[14][15]なども研究されている.

2.2 マッチング

人流データ分析で得られる複数の時空間軌道が高密度で交差する領域では, その密度が POI (Point Of Interest) や LM (Landmark: ランドマーク) の収容キャパシティを超える場合, POI や LM とユーザのマッチングを取ることで混雑・集中の発生を事前に緩和することが可能である.

2.3 経路最適化プランナ

ユーザの発する形容詞を用いて経路をスコアリングし, beautiful, happy, etc.の自動判別を行う研究も発表されている[16]. また, web ベースのプランニングシステムとして CT-Planner5[17]などがある.

3. 情流と環境価値

3.1 情流

情流にはいわゆる情報流の意味も含まれるが, 人流を駆動するのは情報のみではない. ユーザの“漠然とした思い”が情報によって具体化されることで初めてユーザは実空間での移動を開始する. 移動の手段は限定されない. 近年,

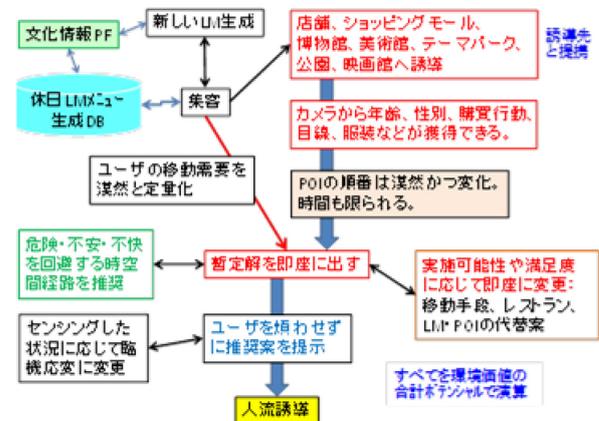


図 1 情流から漠然解へ

急速にクローズアップされている新モビリティや公共交通なども含まれる. 情流は人流を母体として移動するが, 必ずしも同じ時空間に存在するとは限らない.

いま, 人流を次式で表現する.

$$PFLOW = f(\mathbf{P}(t_1), \mathbf{P}(t_2), \dots, \mathbf{P}(t_N)) \quad (1)$$

ここで, $\mathbf{P}(t_n)$ は時刻 t_n ($n=1, \dots, N$) において人に関係する属性を表す行列である. あるナビゲーション関数 $f(\bullet)$ が $PFLOW$ を生成する. $PFLOW$ は環境ポテンシャル EV を獲得する活性化関数 $G[\bullet]$ でモデル化される.

$$GET_EV(PFLOW) = G[f(\mathbf{P}(t_1), \mathbf{P}(t_2), \dots, \mathbf{P}(t_N))] \quad (2)$$

一方, 情流は見かけ上, (1)式と同じ形式で表現される.

$$FFLOW = f_F(\mathbf{F}(t_1), \mathbf{F}(t_2), \dots, \mathbf{F}(t_N)) \quad (3)$$

ここで, $\mathbf{F}(t_n)$ は時刻 t_n ($n=1, \dots, N$) において人に関係する属性を表す行列である. あるナビゲーション関数 $f_F(\bullet)$ が $FFLOW$ を生成する.

情流は以下の内容で構成される.

- (1) ユーザの移動需要に関する情報 (information)
- (2) ユーザの“漠然とした思い (feeling)”
- (3) ユーザの感情 (emotion)

これらがそれぞれ確信度ベクトルで表現され, 位置情報とともに次式によって格納される.

$$\mathbf{F}(t_n) = (\mathbf{F}_{moving_demand}(t_n), \mathbf{F}_{feeling}(t_n), \dots, \mathbf{F}_{emotion}(t_n)) \quad (4)$$

ユーザは POI が具体化されることで初めて実空間での移動を開始するため, feeling に関する $FFLOW$ はもっとも時間的前後関係があいまいとなる. 時に, $PFLOW$ の POI に対応する仮想空間内の POI^{virtual} では訪問・閲覧時間が逆転することもある. また, 仮想空間上の複数の POI^{virtual} が実空間上の 1 個の POI^{real} に対応することもある. 同様に, 1 個の POI^{virtual} が複数の POI^{real} に対応することもありうる. POI のカテゴリについても同様である. 実世界の $PFLOW$ が移動需要の結果遭遇する POI について, 実在, 数, 場所, カテゴリ, 時間関係などにおいて制約を受けないいわばユ

[†] DENSO CORPORATION

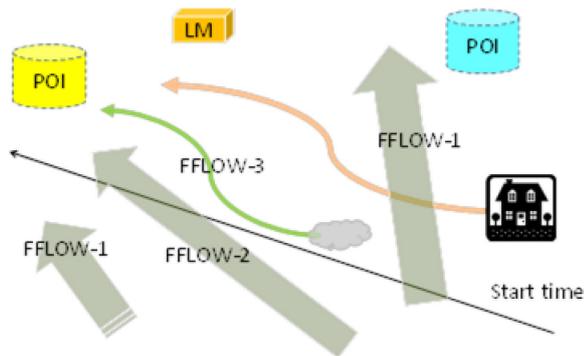


図 2 情流の3段階

一々のイメージとして POI が仮想空間内に配置され、さらにその配置情報も一定しない。

F_{MD} はもっとも実流に近い意思決定後の FFLOW に相当する。Feeling は実流のきっかけを作るイメージであり、“なんとなくこんなところででかけたい”といった時空間指定のあいまいな段階で、今回、これに着目する。すなわち、

$$F(t_n) \cong F_{feeling}(t_n) \quad (5)$$

とする。一方、Emotion は調停結果をねじまげるときに支配的となる。

個々の時刻に置いては PFLOW と FFLOW は対応できるが PFLOW では POI の時系列として位置情報が表現されるのに対し、FFLOW では POI そのものが virtual であるため、必ずしも時系列に対応しない。

3.2 環境価値

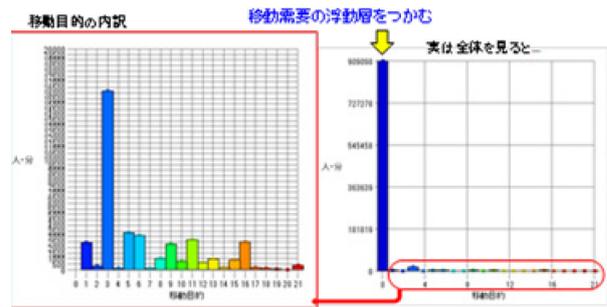
本稿で言う環境価値とは、環境・エネルギー分野の環境価値に限定されない。ある POI や LM または時空間移動経路の各点が有する多元的価値に基づくポテンシャルエネルギーEV に相当する。環境価値には実空間の時空間に対応した値と、仮想空間の時空間に対応した値がある。理想的な時空間移動とは実空間の時空間移動が仮想空間における情流の時空間移動にマッチする（一致するではない）ことに相当する。

$$X = \sum_{i=1}^{i2} EV_GET\{trajectory(real_space, virtual_space), situation\} \quad (6)$$

3.3 人流と情流

物理的な人流は人の意識に基づく情流によって駆動される。逆に情流は人流からの影響を受ける。たとえば物理的現象である渋滞や混雑は情流に不快感をもたらし、やがてその情流は人流を変化させる。したがって人流と情流はループを形成することで物理事象としての人流が変化をとげる。一方、情流そのものは物理的実在ではないために空間での混雑や渋滞は発生しない。代わりに、容易に人から人へと伝搬され、ときに複製を生じる。媒体は IoT 機器や会話、音声、天候、気温、食事やその他の人流の移動需要によって生じるセンシング経験である。さらには、情流に物理的制約はなく、仮想的な時空間で生き延びることがある。

人流の駆動に近づく段階で今、3 段階を考える (図 2)。Phase-1: 移動需要の問題提議があいまいで情流と人流のギャップが大きいときは後述の feeling が支配的となる。こ



中京圏 2011年 11月 5日(土)の2万人のFFLOWより名古屋駅周辺11km圏内を取り出して移動目的を分析した結果、右図では“0:その他”が圧倒的に多い。これは「漠然と移動、多目的、秘密、判定不能」に相当する。単位は「人・分」なので20000人分でもこのような値が出る。

図 3 移動需要の浮動層

の段階では漠然イメージをサインページや広告で見ることの影響が大きい。

Phase-2: feeling に emotion が介在し、より現実的なイメージとして意識される。この段階では観光 2.0 における新しい観光メニューの発見や過去の歴史的地理事象のパターン分析、検索、類推などがマシンの情報処理能力に応じて実行可能となる[18]。

Phase-3: さらに moving-demand が支配的となり、人流駆動の一手手前の意思決定に進む。

また、今回は移動需要に限定しているが、それ以外の移動要求や行動発生に伴う意思決定にも上記と類似した段階を経由する。共通するのは物理的現象に至るまでの、仮想世界を経由した情流による意思決定の具体化プロセスである。これらはマシンによる情流と人流のシミュレーションであるが、人流もマシン内で完遂されるとき、人工知能による創造プロセスをももたらすと予測される。

3.4 時空間移動の動的最適化

3.4.1 人流データにおける目的

関東、京阪神、中京圏などのアンケートに基づく数万人規模以上の人流データ分析結果によると、主要駅周辺の人流の目的ベクトルで構成される移動需要場では移動目的が 5 カテゴリー（食事、通勤通学、買い物、仕事、レジャー）に分類され、約 20 種類の移動目的が各 POI において特徴を示すことがわかっている。だが、その特徴を示す人流は全体の 2 割程度に過ぎず、実際は大半が“その他”に分類される。これをさらに細分化すると、①ユーザ自身が目的を識別できない、②開示したくない、③記載がめんどうなのでその他にした、などの可能性が考えられる。特に②以外は移動需要の浮動層 (図 3) と呼ぶことにする。

3.4.2 漠然とした思いのデータ化

明確な移動スケジュールを持っていない移動需要の浮動層が POI 周辺で観測される場合、個々のスケジュールは漠然としか決まっていない（漠然ユーザ）、まったく決まっていない（未定ユーザ）、の 2 通りと仮定する。漠然ユーザについては図 4 のようなスケジュールリングが考えられる。

3.4.3 漠然解

漠然解は暫定解を複数個集めたものと定義できる。また、それぞれの暫定解は確率解であり、確信度を基準にして定量化される。この定量化は各径路で通過する POI や LM に付随する EV 値[10]とユーザの価値観に由来する正負の差

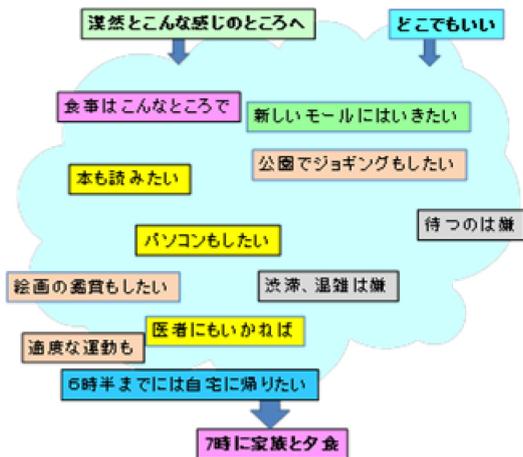


図4 漠然ユーザの思いをデータ化する

分 EV 値を所定経路で獲得した結果に基づく。ある時刻での動的修正に関する事例を図5に示す。

3.4.4 マッチング

各ユーザで算出した漠然解に基づく移動経路で各 POI のキャパシティと予想される人流密度から快適性を大きく逸脱するようであれば、POI の訪問予定を時間方向で分散させるか人流そのものを複数個に分散させる必要がある。そこで、すでに経済学分野で実績のある安定マッチング[19]を多元的に拡張して EV 値を評価する手法が考えられる。

3.4.5 人流誘導

漠然解を極力最短時間で出力した結果、ユーザからの了解のもとで人流誘導を実施する。これに伴い、POI とその時系列をユーザに通知する。

3.4.6 情流から人流へ

物理的実態を持たない情流から物理的に実体のある人流への変換は上記のマッチングと誘導を介して駆動される。情流は円滑な移動手段によって人流にタイムリーにマッチする。情流はコストや移動手段、天候条件、取得情報、同伴者の予定、体調などにより、適宜変更され、情流とは時空間がずれたところにある人流が駆動される。すなわち、

$$PFLOW(t, x) = FFLOW(t + \Delta U(t), x + \Delta V(x)) \quad (7)$$

となる。情流の調停を考える際には空間的なずれは少ないと仮定でき、 $\Delta V(x) = 0$ とみなせる。これは PFLOW が FFLOW の後を追いかける現象となり、実質的には FFLOW がこれからおこる PFLOW の予測結果を示すことになる。一方、移動対象となる POI に関する情報が少ない場合、漠然ユーザの情流が示す漠然解では、実流との空間的なずれが大きくなる可能性が高い。したがって、この段階で漠然解の精度を上げるための計算は無駄になる恐れがある。

4. イメージから意思決定へ

情流における LM の評価は仮想時空間内で行われ、LM も POI も実世界に対応したシンボルとしてユーザの心象内に存在する。ユーザが実体験を重ねることにより POI の実像とイメージは限りなく一定値に近づく。これはあるユーザが N 個の時空間上の局所領域に分散的に存在する際に個々の存在が共通の記憶を持つ“分身”として N 人のユーザが集合知を形成することに等しい。もちろん、M 人の他ユーザとのインタラクションがあれば、その集合知も形成

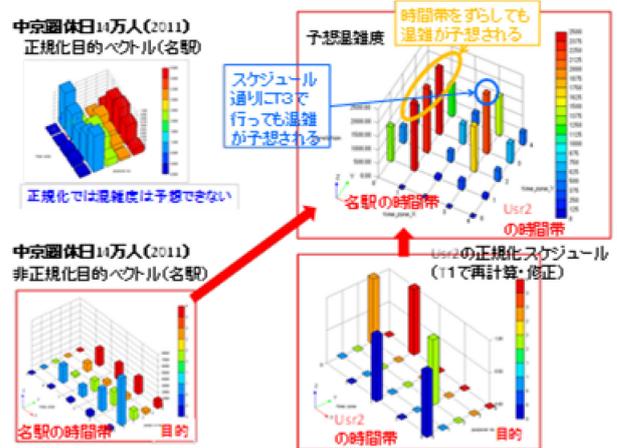


図5 EV 値によるスケジュール最適化

される。したがって、(N+M) 人の集合知がある LM に関する共通のイメージ LM'を生むことになる。そのような K 個の LM'(k), k=1,...,K が仮想時空間内に偏在し、ユーザは自在に異なる LM'(k)間を行き来することができる。ここに絶対時間に沿った移動は存在せず、瞬時の移動も可能である。このような LM'の集合体として形成される擬似世界環境 PW が実環境 RW に近いほど正しい予測と理解、価値判定が得られる。ただし、あるユーザ A の快適性評価においては必ずしもその“現実らしさ”は必要とされない。ユーザにとって心地よい LM'が誘起されることで A の鑑賞値 (EV 値) は増大する。そして有限個の LM'のうち最も高い EV 値を有する LM'(k)が実世界での移動に関する意思決定において支配的となる。

なお、このイメージから意思決定へのプロセスは人を介したナビゲーションシステムのみならず、マシンによる仮想時空間内の移動需要予測すなわち自律的な移動意思としても成立する。

5. 人流の制御

上記の枠組みにより、意思決定の出力は物理的な人流を駆動する。人流から情流へのフィードバックもあるが最終的には上記の意思決定が人流を制御する。なお、人流の性質からその予測背景となる POI や LM に起因する時代の変遷、トレンドがビッグデータを形成するには時間がかかりすぎるため、適宜、漠然解を併用した小回りの利くシステムが望まれる。

5.1 情流の調停

いま、マシンがあるユーザに限りなく近い意思決定ができるとして LM^を漠然解として選出したとする。同時刻において複数のユーザについても同一の LM^が選出されることをマシンが何らかの手段(コネクテッドなど)で知っていれば、現地における混雑をいち早く予測することができる。マシンは最短のインタラクションで移動候補先 LM'について移動希望があるかを確認する。もし、移動先で混雑度が許容限度内と予測できれば問題なく推奨される。混雑度が許容限度を超えている場合はマッチングにより、第2順位以下の EV 値を有する LM (実世界)を推奨する。これでユーザが承諾すれば、ユーザは出発開始前に混雑・渋滞のない先行 LM を快適に享受できる(図6)。もし、時

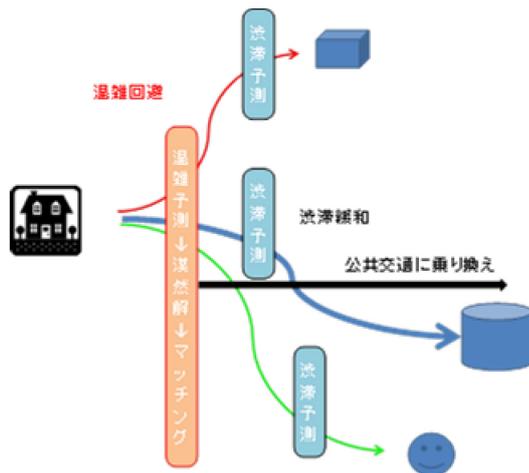


図6 情流で混雑を解消する

間を組み替えても別の LM を希望する際は再度漠然解を提示する。図7に長崎・博多の観光事例をもとに試行した多次元マッチングと EV 値の統合評価例を示す。ユーザと LM の間の適合度 MCA_EVA は次式で計算した。

$$MCP_EVA(i, j) = MCOUPLE(i, j)(EVA(i, j) + MCP) \quad (8)$$

ここで、 $MCOUPLE$ はユーザ i と LMj 間の選好順位に基づく多次元マッチング結果である。 EVA は双方の有する状況特徴と目的を示す N 次元ベクトル (時間, コスト, 定員, 近さ, 食事, 天候他) に基づいた移動需要場の内積相関であり、 MCP は定数である。ユーザから見た LM の選好順位と特徴ベクトルは情流に基づく実時間プロフィールに相当し、LM からユーザを見た選好順位と特徴ベクトルはデータベースに格納された過去の静的プロフィールに相当する。

このようにマシンの情流推定結果がユーザの情流に十分漸近している場合は簡単な確認動作でユーザは推奨結果に違和感なく快適に移動できるため、人流に混雑は発生しない。そして結果としての人流が情流全体の変化に反映される。仮に、混雑が情流推定の結果として予測される場合はマッチングで分派操作を施すので極小回の安定マッチングと漠然解提示により人流全体が調停され、特に違和感なく情流は人流を駆動する。

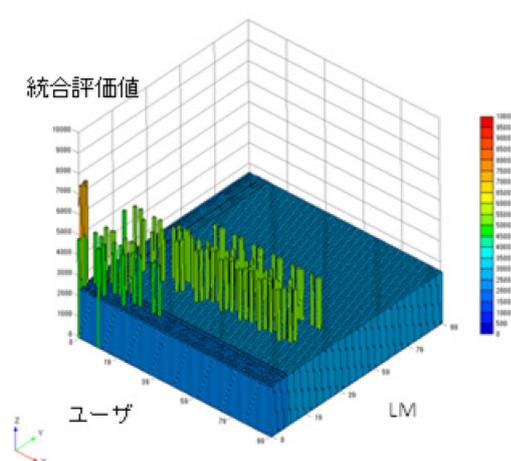


図7 マッチングと EV の統合評価例

6. おわりに

実空間の人流と POI に関する従来のメカニズムに対し、環境価値と情流を新たに仮想時空間内で定義し、漠然解の迅速な提示により情流を制御することで人流の混雑集中を未然に回避する方法を提案した。本方式の検証では、ガイドブックなどの情報をデータベース化しながらビッグデータ集積以前に相応の効果を発揮することが期待できる。

謝辞

本研究に際して貴重な議論をしていただきました東大生産技術研究所の関本義秀准教授に感謝いたします。また、貴重な人の流れデータをご提供いただいた東大 JoRAS の方々に感謝いたします。

参考文献

- [1] デロイト トーマツ コンサルティング, 「モビリティ革命 2030 自動車産業の破壊と創造」, 日経 BP 社, 2016 年 10 月.
- [2] ヴァンソン藤井由美, 宇都宮浄人, 「フランスの地方都市にはなぜシャッター通りがないのか 交通・商業・都市政策を読み解く」, 学芸出版社, 2016 年 12 月.
- [3] 「欧州の新时代ネットワーク関連機関の研究開発動向とテストベッド上での実証動向の調査報告書」, 情報通信研究機構 欧州連携センター, 平成 26 年 7 月 11 日
- [4] 高松平蔵, 「ドイツの地方都市はなぜクリエイティブなのか質を高めるメカニズム」, 学芸出版社, 2016 年 9 月.
- [5] 「動線解析プラットフォーム WEB API 仕様書 Ver. 2.71」, 東京大学空間情報科学研究センター, 平成 28 年 04 月.
- [6] M. Sasaki, Y. Sekimoto (2014). Towards Risk Prediction Considering People Flow, *IITS World Congress 2014*, Detroit, Sep. 2014.
- [7] 笹木, 関本, “人の流れにおける普遍性と特殊性について”, CSIS DAYS 2014.
- [8] N. Ueda, F. Naya, H. Shimizu, T. Iwata, M. Okawa, H. Sawada, “Real-time and Proactive Navigation via Spatio-temporal Prediction”, *Proc. Of the First International Workshop on smart Cities: People, Technology and Data, in conjunction with Ubicomp2015*, pp.1559-1566, Osaka, Japan, Sept. 2015
- [9] Matsubayashi, et al., “Brand-Choice Analysis using Non-negative Tensor Factorization”, *Trans JSAI*, Vol. 30 (2015). No.6, p713-720.
- [10] M. Sasaki, “EV Demand Prediction using Nonnegative Matrix Factorization”, 東大 JORAS 報告書, 2017.
- [11] “特集 観光情報学”, 人工知能 31 巻 6 号 (2016 年 11 月).
- [12] 馬強, “観光情報学の最前線 - 観光の分散化と個人化を促進する集合知活用情報技術 -”, 情報処理 Vol.58 No.3 Mar. 2017.
- [13] Kwan Hui Lim, Jeffrey Chan, Christopher Leckie and Shanika Karunasekera, “Personalized Tour Recommendation Based on User Interest and Points of Interest Visit Durations”, *Proc. of IJCAI2015*, pp.1778-1784 (2015).
- [14] Shen, Yizhu; Ge, Min; Zhuang, Chenyi; Ma, Qiang, “Sightseeing value estimation by analyzing geosocial images”, *2016 IEEE Second International Conference on Multimedia Big Data (BigMM)* (2016): 117-124.
- [15] Chenyi Zhuang, Qiang Ma, Xuefeng Liang, Masatoshi Yoshikawa, “Discovering Obscure Sightseeing Spots by Analysis of Geo-tagged Social Images”.
- [16] Daniele Quercia, Rossano Schifanella et. Luca Maria Aiello, “The Shortest Path to Happiness: Recommending Beautiful, Quiet, and Happy Routes in the City”.
- [17] Yohei Kurata, Yasutaka Shinagawa, Tatsunori Hara, “CT-Planner5: a Computer-Aided Tour Planning Service Which Profits Both Tourists and Destinations”.
- [18] Zhang Yating, Jatowt Adam, 田中 克己. “AIは情報検索を向上できるか?”, 京都大学 ICT 連携推進ネットワーク, 2017 年 2 月.
- [19] 宮崎修一, “安定マッチング問題”, 情報処理 Vol.54 No.10 Oct. 2013.