

コストに着目した交通調査の精度向上手法の評価*

Cost-based Evaluation of Transport Survey Improvement Techniques

奥村 誠†・福住彰規‡

Makoto OKUMURA, and Akinori FUKUZUMI

1. はじめに

アンケート方式の交通調査では、精度や回答率が低くなる問題が多く発生し、それを改善する調査手法の開発が求められている。例えば事前依頼の実施、調査員教育、コンピュータによる回答負担の低減、回答者インセンティブ（謝礼）等の方法が考えられるが、これらの改善には追加的な費用が必要であり、それを精度の向上効果と比較することが必要である。

本研究では、一定の精度の回答を得るためのコストに着目することにより、交通調査の精度改善のための各種の手法を統一的に比較し、評価する方法を考察する。

以下、2. では回答率や回答精度の向上を目指した手法、特に回答者インセンティブに関する既存の研究に触れ、本研究の立場を述べる。3. では各調査項目の母平均推定量について、その精度と調査費用との関係を考察し、精度向上手法の効果を定量化する。4. では直接配布郵送回収式の交通調査に回答者インセンティブを適用した例を用い、その効果を実証的に検討する。最後に5. では今後の課題を述べる。

2. 従来の研究と本研究の立場

(1) 交通調査における無回答問題への対応

住民等を対象とするアンケート調査は、空間的、時間的に広がりを持つ交通行動を把握するための主要な方法として使用され、定着してきた。最近では、SP 調査、CVM 調査などの適用場面も増えている。特に新しい調査では、細かな行動や意識を尋ねることから回答者の時間的、心理的負担が大きくなることが多く、回答率や精度が低下するという問題が発生する。この問題を改善するために、いくつかの方法が考えられる。

例えば、アンケート調査の範囲に限定しても、調査目的の十分な説明と過去の調査結果の説明、事前依頼の実施、調査員教育の徹底、留置期間中のホットラインの設置のほか、返送に伴う負担の軽減、電話等を含めた返送方法の多重化、未回収サンプルへの追加依頼といった方法が実施されている。これらの方法は主に、調査の意義をアピールし、回答者の意識を喚起し、忘却や紛失を回避

することを目指しているものである。さらに、アンケートへの回答という作業の時間的、心理的コストに対して、経済的な補償を行うという考え方に立ち¹⁾、回答者への金銭的な支払いとして、回答者インセンティブを活用することも考えられる。

いずれの方法を採用にせよ、その実施には追加的な費用が必要であり、それに見合った効果が期待されなければならない。

(2) 回答者インセンティブに関する従来の研究

アンケート調査において、インセンティブにより回答率を高めようという考え方は新しいものではない。Dohrenwend²⁾、Feber et al.³⁾はそれぞれ、複数の種類のインセンティブとともにアンケート票を配布し、回収率に及ぼす影響を実証的に分析した。その結果、トラベルダイアリーのような複雑な調査では高額のインセンティブをつけた場合ほど回収率が高くなるが、簡単な調査に過大な謝礼をつけたり第2回目以降に初めてインセンティブをつけると、回答率の低下を招くことを指摘している。Bonsal et al.⁴⁾はインセンティブの効果は期待するほど大きくないと報告しており、Richardson et al.⁵⁾は、わかりやすい調査票により回答者の時間を節約することが最大のインセンティブになるとし、金銭的インセンティブへの安易な依存を戒めている。

このように既存の研究ではインセンティブの効果には否定的な見解が多いが、いずれもその効果を「回答率の上昇」に限定している。しかし、回答者の母集団が性格の異なる下位集団（以下では層と呼ぶ）から構成されている場合、回答率の上昇が全ての層で一様であるとは限らない。もしインセンティブによりもともと回答率の低い層や標本分散の大きい層の回答率が上昇するならば、費用の削減効果は大きくなる (A)。さらに、インセンティブによって、回答率は同一であっても回答者のアンケートへの取り組み方が変化し、回答内容が変化する可能性がある。もし回答の精度が向上し標本分散が小さくなるならば、所与の精度を確保するための回答数は少なくとも良く、調査費用の削減が期待できる (B)。

従来の研究は、「回答率の上昇」に限定して効果を捉えているため、上記のような効果を十分に表現できていないと考えられる。

* 調査論、交通行動分析、意識調査分析、回答者インセンティブ

† 正会員 工博 広島大学工学部 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1・Tel&Fax:0824-24-7827)

‡ 学生会員 広島大学大学院国際協力研究科

(3) 本研究の立場

交通調査の精度改善のための種々の手法の具体的な効果は、小規模なプリ・サーベイを通して明らかにしてい
く他はない。本研究はプリ・サーベイで実施した種々の
手法についてその効果を統一的に評価し、本調査を効率
化するための適切な手法を選定する方法を提案する。そ
の際、回答率という単純な評価指標ではなく、各調査項
目の母平均推定量について一定の精度を確保することを
目的と考えて、それを実現するための調査費用の節約額
を用いる。それにより上述した(A)層ごとに回答率の上
昇が一様でない場合や、(B)回答の標本分散が変化する
場合にも対応できる。

3. 所定の精度を確保する調査費用

交通調査では1枚の調査票で多数の項目を調査し、そ
れらを用いてモデルの作成などの定量的な分析を行うの
が普通である。回答者の全員が調査票を返送するわけ
ではなく、また返送された調査票もすべての項目が回答さ
れているわけではない。本来、項目間の関連性を踏まえ
た検討を行うことが望ましいが、本研究では各項目ごと
の回答を独立して取り扱い、回答された数値から母集団
平均値を推定する際の精度に絞って議論を行う。

(1) 一様な回答率の上昇をもたらす場合

まず、アンケートの改善手法が母集団全体の回答率を一
様に上昇させるが、回答精度は向上させないケースを取
り上げる。以下、配布枚数を m 、1枚当たりの配布費用
を C_x 、回答数を n 、回答数に比例する処理費用を C_o と
する。アンケート調査の費用の可変部分 C は、

$$C = C_x m + C_o n = \left(\frac{C_x}{\bar{e}} + C_o \right) n \quad (1)$$

で表される。ただし、 $\bar{e}$ は平均回答率 (n/m) である。従っ
て既存の研究のように、手法の効果は平均回答率 $\bar{e}$ の上昇
率と配布コスト C_x の上昇率との比により判定できる。

(2) 回答率と回答精度の一様な上昇がある場合

いま、着目している項目の標本分散を s^2 とすると、その
変数の母平均推定量の分散 $\sigma_{\bar{x}}^2$ は、

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{s^2}{n} = \frac{s^2}{m\bar{e}} \quad (2)$$

となる。結果的に分散にして $\sigma_{\bar{x}}^2$ だけの精度を確保しよう
とすれば、必要な配布枚数は

$$m = \frac{s^2}{\sigma_{\bar{x}}^2 \bar{e}} \quad (3)$$

で表される。これを式(1)に代入すると、調査の可変費用
は以下ようになる。

$$C = \left(\frac{C_x}{\bar{e}} + C_o \right) \frac{s^2}{\sigma_{\bar{x}}^2} \quad (4)$$

従って手法の導入による回答率の上昇が大きくなり右辺
() 内が増加する場合でも、回答精度が高まり十分に s^2
が小さくできれば、調査費用を節約できる可能性がある。

(3) 回答率の上昇や回答精度の変化が一様でない場合
インセンティブとして何らかの商品を配布する場合、対
象者の性別や年齢などによって効果が異なると考えられ
る。着目する「層」が、性別のように外見から区別が可
能な属性により定義されている場合には、各層を別々の
母集団と考えた上で式(4)を適用し、層ごとに配布率を
定め改善手法を適用するかどうかを判断すればよい。

一方、所得のように外見から判断が困難な属性により
「層」が定義されている場合には、全対象者に対して手法
を適用するか否かを一括して検討する必要がある。この
場合、配布率を層ごとに変えることはできないから、各
層 i の構成比を R_i とし、回収率を e_i とすれば、層 i への
配布数 m_i と回収数 n_i はそれぞれ次のようになる。

$$m_i = m R_i, \quad n_i = m_i e_i = m R_i e_i \quad (5)$$

対象とする項目の回答について、層ごとに平均値が同
じ場合と異なる場合では、集計の際の重みが異なる。

i) 層により平均値が異なる場合

母平均推定量 $\bar{x} = \sum w_i x_i$ が不偏となるためには各層の重
み w_i を回答率 e_i に反比例させる必要がある。各層の回答
の標本分散を s_i^2 とすれば、母平均推定量の分散は、

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{m} \sum \left(\frac{R_i s_i^2}{e_i} \right) \quad (6)$$

となり、精度の確保に必要な配布枚数および可変費用は
以下ようになる。

$$m = \frac{1}{\sigma_{\bar{x}}^2} \sum \left(\frac{R_i s_i^2}{e_i} \right) \quad (7)$$

$$C = \left(\frac{C_x}{\bar{e}} + C_o \right) \frac{\bar{e}}{\sigma_{\bar{x}}^2} \sum \left(\frac{R_i s_i^2}{e_i} \right) \quad (8)$$

改善手法の導入前後において、各層の回答率 e_i と標本分散
を s_i^2 を調べ、式(8)を適用してコストを比較すればよい。

ii) 層により平均値が異なる場合

母平均推定量は重み w_i に関わらず不偏となるので、各層
の標本分散に比例する重みを与えることにより、母平均
推定量の分散を最小にすることができる。この時母平均
推定量の分散と配布枚数は、

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{m} \sum \left(\frac{R_i e_i}{s_i^2} \right) \quad (9)$$

$$m = \frac{1}{\sigma_{\bar{x}}^2} \sum \left(\frac{R_i e_i}{s_i^2} \right) \quad (10)$$

で与えられ、調査の可変費用は次式のようにになる。

$$C = \left(\frac{C_x}{\bar{e}} + C_o \right) \frac{\bar{e}}{\sigma_{\bar{x}}^2} \sum \left(\frac{R_i e_i}{s_i^2} \right) \quad (11)$$

式(11)より、ある層の回答率 e_i の上昇と標本分散 s_i^2 の低
下は右辺最終項を変化させ調査費用の低減につながるが、
その効果は各層の構成比 R_i に依存する。

なお、改善手法の導入により標本平均値がずれる場合に
は、母平均の不偏推定量を得ることができなくなる。従っ
てまず、手法の有無間で検定により平均値の同一性を
検定する。同一性が棄却されなければ、バイアスが生じ

表-1 インセンティブ別の配布数と回収数

インセンティブ	配布数	回収数	回収率	単価
(0) なし	798	120	0.15	0
(1) 地図	194	31	0.16	20
(2) 砂糖	103	24	0.23	100
(3) 洗剤	95	32	0.34	200
(4) 図書券	98	43	0.44	500
合計	1288	250	0.19	

表-2 片道所要時間の回答1枚当たりの費用

インセンティブ	(0) なし	(1) 地図	(2) 砂糖	(3) 洗剤	(4) 図書券
回答率 $\bar{e}$	0.15	0.16	0.23	0.34	0.44
単位配布費用 C_x	133	153	233	333	633
$C_x/\bar{e}$	886	959	1001	1021	1443
$C_x/\bar{e}$ の比	1.00	1.08	1.13	1.15	1.63

ていないと判断し、式(8)または式(11)を比較し、費用削減効果を計算すればよい。

4. 実調査データに基づく考察

大規模な調査を行う際にはプリ・サーベイを実施して以上の評価を行い、効果的な改善手段を選ぶ必要がある。その方法を例示するため、ここでは事前配布式インセンティブを活用した小規模な交通調査の実例をとりあげ、以上の評価を実施して費用節約効果を考察する。

この調査は、平成10年の5月、7月の休日に、買物、余暇活動のために広島市安佐南区古川地区を訪れた人を対象として実施された非日常的買物行動の調査である。古川地区の地図、砂糖、洗剤、図書券の4種類のインセンティブを調査票とともにランダムに配布し、郵送回収を行った。

なお、回収票に対して事後にインセンティブを送付すれば配布費用 C_x の上昇を小さくできるため有利となる可能性がある。ただし回答者の住所・氏名などを記入させる必要があり、プライバシーに関わる内容を含む調査には適用しがたい。また回答者が調査者側の意向に合うように回答を歪める可能性も大きくなる。バイアスの検定を実施する上記の評価方法は、事後インセンティブの効果の検討にも利用できるが、以下のケースでは事前インセンティブの効果を検討する。

表-1に配布数、回収数、回収率、インセンティブの単価を示す。高額なインセンティブほど回収率も高いが、比例関係は見られない。なおこの調査では配布時に属性のチェックを行っていないので、3.で用いた各層の構成比 R_i を知ることはできない。そこで「インセンティブ無しの場合には各層の回答率が一律であり、 R_i はインセンティブなしの回収数の構成比に等しい」と仮定して以下の計算を行う。

(1) 回収率の向上と費用の変化率

まず、従来の研究で着目されてきた回収率と費用の変化に着目する。表-2より、どのインセンティブをつけた場

表-3 インセンティブなしの回答

層 R_i	男性	女性	2つの層の差	
	0.32	0.68	検定方法	検定結果
回答率 e_i	0.05	0.05	R_i の仮定により同一	
平均値 $\bar{x}$	0.4	0.7	t検定	同一
分散 s_i^2	0.58	0.78	F検定	同一

表-4 地図をつけた場合の回答

層 R_i	男性	女性	謝礼なし(表-3)との差	
	0.32	0.68	検定方法	検定結果
回答率 e_i	0.06	0.09		
平均値 $\bar{x}$	0.5	0.5	t検定	表3と同一
分散 s_i^2	0.38	0.38	F検定	表3と同一

合にも、回収1枚当たりの費用はインセンティブなしのサンプルに比べ大きい。つまり式(1)に基づく回答率の上昇のみに着目した考え方では、どのインセンティブも有効でないと判断される。

2.で述べたように、(A)層ごとに回答率の上昇が一律でない場合、(B)回答の標本分散が変化する場合には、式(1)に基づく判断では不十分である。以下、それぞれのケースを例示する。

(2) 回答率上昇の不均一性を考慮した場合(A)

(A)回答率の上昇が層によって異なる例として、片道所要時間の回答を取り上げる。まずインセンティブをつけない場合に、男性と女性の2つの層の標本平均値、標本分散の同一性をそれぞれt検定、F検定で検定した結果を表-3に示す。これより平均値と分散は2つの層で有意には異ならなかった。インセンティブとして地図をつけた場合の2つの層ごとの平均値、分散は表-4の通りであり、t検定、F検定の結果では表-3に示したケースのそれらと統計的には同一である。これよりインセンティブが母集団平均値にバイアスを発生させないという条件は満足されている。

式(11)により、インセンティブ無しの場合と有りの場合の可変費用を求めると、前者が $C = 2334/\sigma_{\bar{x}}^2$ 、後者が $C = 1595/\sigma_{\bar{x}}^2$ となり、同一の精度を得るための費用は約3分の2に節約できる。これは、もともと精度の低い層(女性)の回収率の向上が大きかったためである。

(3) 回答精度の向上がある場合(B)

(B)回答精度の向上が見られた例として、地区外の月訪問回数の回答を取り上げる。この項目では層ごとの回答率および分散には差がほとんどなかったため、以下では層に分けずに検討を行う。

表-5のように、インセンティブをつけた場合には標本平均値が若干低下したが、t検定では同一性は棄却できなかった。よってインセンティブによるバイアスは生じないという条件は満たされている。回答率は上昇しなかったが、標本分散が約半分と、有意に小さくなっている。

式(4)により、インセンティブ無しの場合と有りの場合の可変費用を求めると、前者が $C = 9037/\sigma_{\bar{x}}^2$ 、後者が

表-5 インセンティブの有無による比較

インセンティブ	(0) なし	(1) 地図	差の検定結果
回答率 e_i	0.15	0.15	同一
平均値 $\bar{x}$	3.0	2.4	同一
分散 s_i^2	7.23	3.66	異なる

表-6 回答項目ごとのインセンティブの効果

インセンティブ 回答項目	(1) 地図	(2) 砂糖	(3) 洗剤	(4) 図書券
片道所要時間	A	B	A,B	$e_i > 1$
買物時間	-	-	-	$e_i > 1$
使用金額	-	-	-	-
同行人数	-	-	-	-
買物箇所数	-	B	-	$e_i > 1$
駐車支払意志額	異平均	異平均	異平均	$e_i > 1$
地区外訪問箇所	-	-	-	-
地区外月訪問回数	B	-	-	-
駐車待ち回数	A	B	-	-
駐車待ち時間	B	異平均	B	-

$C = 4810/\sigma_x^2$ となり、同一の精度を得るための費用は約2分の1に節約できることがわかる。

(4) 回答項目ごとのインセンティブの効果

他の調査項目についても、式(8),(11)を用いて同様な計算を行い、インセンティブの有効性を確かめた。表-6ではインセンティブにより費用節約ができるケースにはその原因(前述のA,Bあるいはその両方)を示し、最も効率的なものは枠をつけている。費用が増加してしまうケースには「-」を表示している。

図書券はどの調査項目に対しても有効とはならなかった。これは単位配布費用 C_x の上昇率が大いことによるが、インセンティブ無し回収数の比を基準とする R_i を用い式(5)により回答率 e_i を計算すると、回答率が1を越えてしまった(表では $e_i > 1$ と表示)ケースも多かった。

インセンティブによるバイアス(標本平均値の変化)はほとんど見られなかったが、駐車支払意志額では有意な差が検出され(表では「異平均」と表示)、SP調査項目ではインセンティブによりバイアスが発生する可能性が高いと推察される。もちろん、もともと存在するバイアスがインセンティブにより除去できた、という逆の可能性もあるため、標本分散の変化を踏まえた綿密な検討を

行うことが必要である。

表-6より、地図、砂糖、洗剤をつけることで費用節約ができる場合があるが、どの調査項目に対して有効かは異なり、一概にどのインセンティブが有利とは言えない。従って今回の調査のようなプリ・サーベイを実施し、重視する回答項目に応じて最適なインセンティブの種類を選ぶことが望まれる。

5. おわりに

本研究では、アンケート調査の精度改善手法の効果を、精度と費用の関係式(8),(11)により統一的に評価する方法を提案した。さらに回答者インセンティブを取り入れた交通調査を例に、回収率の平均的な向上が調査費用の増加分を上回らないようなケースでも、層ごとの回収率の向上が不均一であることや精度の向上効果を考慮して評価することにより、インセンティブの導入が効率的になることを示した。最後に今後の課題を述べる。

- (1) 本研究では、属性を1つずつ取り上げて層を定義したが、いくつかの属性を組み合わせる層別を行う場合の検討を行う必要がある。
- (2) 本研究では、調査項目ごとに母平均推定量の精度を考えてきた。今後は複数の調査項目を用いてモデルを構築することを想定し、モデルの誤差を小さくするインセンティブについて検討する必要がある。

参考文献

- 1) Philipson, T.: Data Markets and the Production of Surveys, *Review of Economic Studies*, 64, 73-96, 1997.
- 2) Dohrenwend, B.S.: An experimental study of payments to respondents, *Public Opinion Quarterly*, 34, 621-624, 1970.
- 3) Feber, R. and Sudman, S.: Effects of compensation in consumer expenditure studies, *Annals of Economic and Social Measurement*, 3(2), 319-331, 1974.
- 4) Bonsall, P.W. and McKimm, J.: Non-response bias in roadside mailback surveys, *Traffic Engineering and Control*, December, 582-591, 1993.
- 5) Richardson, A.J., Ampt E.S. and Meyburg, A.H.: *Survey Methods for Transport Planning*, Eucalyptus Press, 243-246, 1995.

コストに着目した交通調査の精度向上手法の評価

奥村 誠・福住彰規

交通調査において、細かな行動や意識などを含む複雑な調査が増え、精度や回答率が低くなる問題点が指摘されている。本研究は、この問題に対処するための各種の改善手法の効果を所定の精度を確保するための費用を用いて統一的に評価する手法を提案する。さらに、回答者へのインセンティブ(謝礼)の精度向上効果を例に、評価手法の適用例を示す。

Cost-based Evaluation of Transport Survey Improvement Techniques

Makoto OKUMURA, and Akinori FUKUZUMI

Besides respondent incentive articles (RIA), there are many possible measures to increase response rate and improve accuracy in transport survey. This study proposes that performance of those measures can be evaluated based on the survey cost which satisfies given accuracy level. The proposed criteria can be applied for the technique which alter the response rate or accuracy unevenly for several sub-groups of the population. A case study of a shopping travel survey held in a shopping district in Hiroshima City practically illustrates the effectiveness of the RIAs, based on the proposed criteria.