

各種旅行時間信頼性指標の比較と課題*

Comparative Study on Travel Time Reliability Indexes*

若林拓史**

by Hiroshi WAKABAYASHI**

1. はじめに

Just In Time 生産や在庫を最小限にする流通経済等の社会的要請と交通事故発生による通行止めや交通混雑等の道路事情を背景に、目的地までの到達性の確保や旅行時間の信頼性への要請が高まってきている。到達の確実性の評価は、筆者らにより提案されている連結信頼性を用いることができる¹⁾。一方、旅行時間の安定性や混雑の程度を示す指標として旅行時間信頼性指標が提案されている。旅行時間信頼性指標については米国等で *BT* や *BTI* の指標 (後述) が用いられるようになってきている。

本論文では、従来から提案されている旅行時間信頼性指標を比較検討し、その特性や考え方、問題点を考察する。さらに、利用者の立場から望ましい指標の要件を述べる。新しい指標を提案し、各種旅行時間信頼性指標を名古屋～大阪 (吹田 JCT) 間での推定値に基づいて比較検討する。

2. 旅行時間信頼性の定義と提案されている各種指標

信頼性を定義する上での特徴は、システムに何らかの意味での変動があり、その変動と提供されるサービスとを関係づけようとする点である。信頼性とは本来、「システム等が規定の使用期間中、所定の機能を遂行し得る状態にあること」を意味し、信頼度とは、この信頼性を確率表現したものと定義される。旅行時間信頼性とは、目的地までの旅行時間がある値以下である確率、あるいは、ある確率で到達可能な走行旅行時間の上限値 (最大許容旅行時間) である。この信頼性は、旅行時間の安定性を示す指標であり、道路利用者に対し旅行時間の正確性と迅速性の情報を提供するものであるが、明確な指標は長年提案されてこなかった。これに対し、TRB で 2003 年頃から 95 パーセントイル旅行時間を旅行時間信頼性指標とする提案が行われている²⁾。

2.1 *PT*, *PTI*, *BT*, *BTI* 指標の特性と問題点

アメリカ等で使用されている指標としては、*PT* (Planning Time), *PTI* (Planning Time Index), *BT* (Buffer Time), *BTI* (Buffer Time Index) 等が挙げられる。これらの指標は

以下のように定義される^{3),4)}。

$$PT = 95 \text{ パーセントイル旅行時間} = TT95, \quad (1)$$

$$PTI = PT / T_{\min}, \quad (2)$$

$$BT = 95 \text{ パーセントイル旅行時間} - \text{平均旅行時間}, \\ = TT95 - Tave \quad (3)$$

$$BTI = BT / Tave, \quad (4)$$

ここに、 T_{\min} とは、自由流における旅行時間である。

山崎ら⁵⁾は、これらの指標の他の道路区間との比較可能性等を含めた整理を行い、区間距離で正規化した新たな指標を提案し、ETC データで得られた名神高速道路八日市～吹田間の月間変動を明らかにしている。川北ら⁶⁾は、阪神高速道路を対象に、*BTI* や *PT* (95 パーセントイル旅行時間) を従来指標 (昼間渋滞量 : [km・時]) や平均旅行時間と比較し、指標によって比較する路線の順位が大きく変動することを指摘している。

ここに、*BTI* の問題点は、式(4)において平均値が同じであれば、旅行時間変動すなわち *BT* 値が小さい方が望ましいので、*BTI* 値は小さい方が望ましいこととなる。しかしながら、式(4)の分子、すなわち「平均旅行時間からの変動」が同じであれば、「平均旅行時間」の小さい方が望ましいにもかかわらず、「平均旅行時間」が分母にあるために、「平均旅行時間」の小さい方の道路区間の方が *BTI* 値が大きく算出されてしまうことが問題となっている。

また、Lomax ら³⁾は、95 パーセントイル旅行時間を使用する意義を次のように述べている。

1) 95 パーセントイル値は、標準正規分布における 2σ に相当する。

2) 95 パーセントイル値は、20 日間の通勤トリップにおける 1 日の遅刻であるとし、「深刻なトラブルなしに 1 ヶ月に 1 日程度の遅刻は許されるであろう」と述べている。

1) は、この *BTI* 指標が、道路管理者側の指標 (特に渋滞に起因する遅れの程度を表す指標) であることを示唆している。しかしながら、ドライバーは全体の車両の 95 パーセントイル旅行時間に対して、それほど興味を持っているか疑問である。この点については 1σ の値にも意味があると考えられ、3. において後述する。また、2) に

* キーワード: 交通ネットワーク信頼性, 旅行時間信頼性, 旅行時間信頼性指標, 各種指標の比較

** 正会員 名城大学都市情報学部 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘, Tel:0574-69-0131, Fax:0574-69-0155)

関しては、1人のドライバーの長期間にわたる交通行動が、短時間における多数のドライバーの交通行動にすり替わっている点に問題点がある。多数のドライバーの中には、好んで低速での移動を選択しているドライバーも存在すると考えられるからである。

2.2 $\lambda skew$, λver , TTV 指標など

van Lint ら⁷⁾や Enide ら⁸⁾は、 $\lambda skew$ や λver 指標を提案した。すなわち、

$$\lambda skew = (TT90 - TT50) / (TT50 - TT10), \quad (5)$$

$$\lambda ver = (TT90 - TT10) / TT50. \quad (6)$$

である。また Tu ら⁹⁾は、 TTV 指標を提案している；

$$TTV = \frac{90\text{パーセンタイル旅行時間} - 10\text{パーセンタイル旅行時間}}{TT90 - TT10}, \quad (7)$$

ここに、 TTx は、 x パーセンタイル旅行時間である。これらの指標も、 BTI 指標と同様、道路管理者側の指標であるといえる。

3. 新しい指標の提案

以上述べた各指標について本論文の後半にて計算結果と考察を述べる。これらの計算結果や上記各種文献等から、筆者の見解として以下のことがいえる。

- (1) 旅行時間信頼性指標のみの提供では不十分で、利用者には平均旅行時間と旅行時間変動の2つの情報を提供する必要がある。
- (2) 管理者側の指標と旅行者側の指標を区別する必要がある。
- (3) 区間ごとの固有の評価指標と、異なる道路間で比較可能な評価指標とは別であり、両者は併用する必要がある。

次に、利用者側の立場に立ち、かつ管理者側にも有用な新しい旅行時間信頼性指標を考える。道路管理者側の指標は依然として重要であると考えられるが、利用者の視点からの指標も重要であると考えられる。すなわち、

- 1) ドライバーの興味は、予定時間に到着できるかである。あるいは、より早く目的地へ到達できる可能性である。このため、平均旅行時間の他に、平均旅行時間付近の「ブレ」に関する情報の提供が必要である。
- 2) このため、ドライバーにとっては、95パーセントの車両がそれ以下の旅行時間で走行しているという PT 値については、あまり利用価値はないと考えられる。

以上のことから、平均旅行時間付近での変動を表現した指標を考える。この指標には2つのタイプが考えられ、

- a) 平均旅行時間±百分率増減タイプ

表-1 旅行時間信頼性指標の整理

	他の道路区間との比較が不可能	他の道路区間との比較が可能
道路管理者サイド	PT BT TTV $\lambda skew$ λver $TT80-TT20$ $TT70-TT30$	PTI BTI
利用者サイド	$P(ave+10)$ $P(ave-10)$	

- b) 平均旅行時間±絶対値増減タイプ

を考える。本論文では、簡便性と分かりやすさのためb)のタイプを用いることとし、一例として、「平均旅行時間±10分」とした指標を開発することとする¹⁰⁾。提案する指標を、 $P(ave+10)$, $P(ave-10)$ と定義する。

i) $P(ave+10)$ 指標とは、平均旅行時間を10分上回る場合のパーセンタイル値である。できるだけ多くの車両がこの時間以内にトリップを終えている方が望ましいことから、この指標値は大きい方が望ましい。

ii) $P(ave-10)$ 指標とは、平均旅行時間を10分下回る場合のパーセンタイル値である。できるだけ多くの車両がこの時間以後にトリップを終えている方が望ましいことから、この指標値は小さい方が望ましい。式で表現すると、

$$P(ave+10) = x | TTx(Tave+10), \quad (8)$$

$$P(ave-10) = x | TTx(Tave-10). \quad (9)$$

これらの指標により、ドライバーは旅行時間の平均値周りの「ブレ」を知ることができ、行動判断の意志決定に利用することができると思われる。

また、次の指標も併せて検討する。

$$TT80 - TT20 = 80\text{パーセンタイル旅行時間} - 20\text{パーセンタイル旅行時間}, \quad (10)$$

$$TT70 - TT30 = 70\text{パーセンタイル旅行時間} - 30\text{パーセンタイル旅行時間}, \quad (11)$$

ここに、2.1でも述べたように、95パーセンタイル値が標準正規分布では 2σ 型指標であるのに対し、 $TT80-TT20$

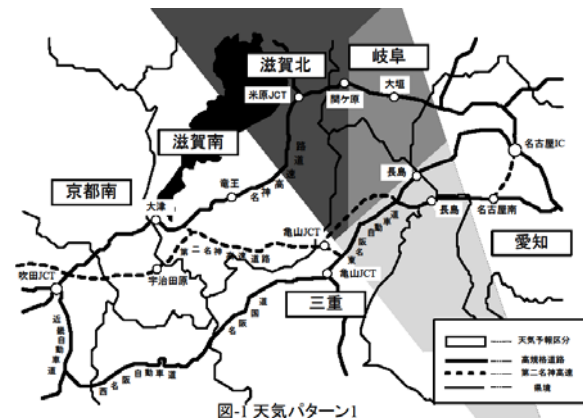


表-2 所要時間信頼性の変化(上り, 天気パターン1)

	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
名神(平常時)	71.23	92.74	101.76	108.29	113.86	119.04	124.42	129.98	136.32	145.54	182.78
東名阪(平常時)	97.44	119.09	128.25	134.71	140.33	145.53	150.74	156.36	163.02	171.97	209.45
新名神(平常時)	55.80	72.64	79.71	84.83	89.19	93.25	97.46	101.82	106.78	114.00	143.18
名神(降雪予報下)	93.84	114.62	123.33	129.63	135.02	140.02	145.22	150.58	156.80	165.61	201.60
東名阪(降雪予報下)	98.19	119.84	129.00	135.47	141.08	146.28	151.50	157.11	163.77	172.74	210.20
新名神(降雪予報下)	61.08	77.90	84.96	90.07	94.42	98.48	102.68	107.04	112.03	119.20	148.33

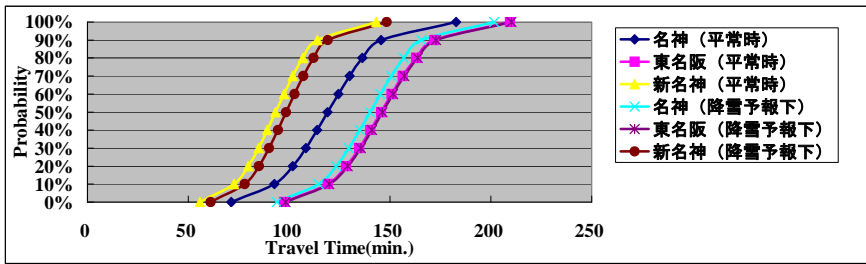


図-2 所要時間信頼性の変化(上り, 天気パターン1)

指標は1σ型の指標に近い指標といえる(正確にいうと1σは約68パーセントなので、TT85-TT15の方が望ましいかもしれない)。

以上の11指標を、管理者側/利用者側、異なる道路区間間での比較可能性について整理すると表-1のようになる。

4. 旅行時間信頼性のための旅行時間変動推定モデル

過年度までに開発した需要サイドと供給サイドの変動を同時に考慮した信頼性解析モデルを利用して各種指標を比較する。このモデルでは、平常時の他、悪天候予報下における種々の代替案比較や旅行時間情報の提供にも利用できるように旅行時間の変動および連結信頼性の推定が可能となっている¹¹⁾。構築したモデルのフレームワークは、入力情報が天気予報の地域分布、出力情報が高規格道路の経路別の旅行時間の変動および連結信頼度となるような多段階確率構造をもつ信頼性解析モデルである。このモデルの出力の一部である旅行時間の変動から、各種旅行時間信頼性指標が計算できる。

なお、旅行時間変動の対象区間は、東名高速名古屋IC

表-3 各種旅行時間信頼性指標の比較(1)

	Tave	順位	PT	順位	PTI	順位	BT	順位	BTI	順位
名神(平常時)	119.04	2	164.16	2	2.30465	2	45.12	2	0.37903	3
東名阪(平常時)	145.53	3	190.71	3	1.95725	1	45.18	3	0.31044	1
新名神(平常時)	93.25	1	128.59	1	2.30448	3	35.34	1	0.37898	2
名神(降雪予報下)	140.02	2	183.61	2	1.95658	2	43.59	2	0.31128	2
東名阪(降雪予報下)	146.28	3	191.47	3	1.95001	1	45.19	3	0.30890	1
新名神(降雪予報下)	98.48	1	133.77	1	2.18987	3	35.29	1	0.35836	3

表-4 各種旅行時間信頼性指標の比較(2)

	λskew	順位	λvar	順位	TTV	順位	P(ave+10)	順位	P(ave-10)	順位	TT80-TT20	順位	TT70-TT30	順位
名神(平常時)	2.00760	3	0.44355	3	52.80000	2	68.30935	3	31.34650	2	34.56000	2	21.69000	3
東名阪(平常時)	1.99996	1	0.36338	1	52.88300	3	68.53051	2	31.47101	3	34.77000	3	21.65300	2
新名神(平常時)	2.00679	2	0.44354	2	41.36000	1	73.27982	1	26.91406	1	27.07000	1	16.99000	1
名神(降雪予報下)	2.00748	3	0.36416	2	50.99000	2	68.95522	2	30.72356	2	33.47000	2	20.95000	2
東名阪(降雪予報下)	2.00057	1	0.36161	1	52.89700	3	68.52506	3	31.44666	3	34.76900	3	21.63800	3
新名神(降雪予報下)	2.00731	2	0.41935	3	41.29671	1	72.88500	1	26.88535	1	27.06833	1	16.96912	1

～名神高速吹田JCT間である。計算対象経路は、

- 1) 名神高速道路経由、
 - 2) 東名阪自動車道経由、
 - 3) 新名神高速道路経由、
- の3路線である。なお、こゝでいう「新名神高速道路」とは、2008年2月23日(土)に開通した東名阪自動車道を経由する区間ではなく、伊勢湾岸道から直接菟野ICを経由し、抜本的見直し区間を含んで吹田JCTに至る計画時のルートである(図-1参照)。

旅行時間の変動を確率分布関数にて計算した結果を表-2と図-2に示す。入力とする旅行時間分布は、正規分布を仮定しているため、得られる旅行時間の確率分布関数は50パーセンタイル値での点対称S字型曲線となる。図解的に述べると、S字型曲線が右へシフトするほど旅行時間は小さく、また平均値付近での曲線の勾配が急なほど旅行時間の変動が小さいこととなる。

5. 各種旅行時間信頼性指標の比較検討

各種旅行時間信頼性の計算結果を表-3および表-4に示す。表-3の第1列および第2列に平均旅行時間Taveを示しておく。新名神、名神、東名阪道の順に旅行時間が小さい。名神と新名神の時間差は平常時で約30分、図-1に示す降雪パターン下では40分以上の差となっている。また、名神と東名阪とでは平常時に約25分の時間差となっている。3路線間での順位に着目すると、以下のことが明らかとなる。

- (1) PT, PTL, BT, BTI 値では、順位に大きな相違が発生する。2.1で述べた定性的な問題点が、定量的に裏付けられたこととなる。特にBTI値では、旅行時間の小さい新名

神ルートが大きく順位を落としており、実態に合わないこの指標の問題点が明らかとなっている。

(2) $\lambda skew$, λver は, BTI 値と同様の傾向を示しており, (1)で指摘した問題点を同様に有している。

(3) これに対し, 本論文で提案した $P(ave+10)$, $P(ave-10)$ 指標は, 平均旅行時間付近での曲線の勾配を表しており, 旅行時間信頼性指標としての性能評価値として妥当であることを示している。Tuら⁹⁾による TTV 指標も同様の傾向を示している。ただし, $P(ave+10)$, $P(ave-10)$ の2位と3位は, 評価値が1の位まで同じ値であるので, 微妙な順位関係にあるといえる。この点については, 計算ケースを増やして今後検討したい。

(4) $TT80-TT20$ 指標や $TT70-TT30$ 指標も, 平均旅行時間付近での曲線の勾配を表していることから, 旅行時間信頼性指標として利用可能であることが分かる。同時に, これらの指標は, $TT95$ ほどではないが, ある程度, 道路管理者側も利用価値が高いと思われる。

6. まとめ

本論文では, 各種旅行時間信頼性指標をレビューし, 新たな指標を提案してこれらの比較検討を行った。得られた成果を以下にまとめる。

(1) PT , PTI , BT , BTI 指標は, 挙動が不安定であり, 文献 5)や 6)での指摘を裏付ける形となった。

$\lambda skew$, λver 指標も同様である。

(2) これに対し, 提案した $P(ave+10)$, $P(ave-10)$ 指標, $TT80-TT20$ 指標や $TT70-TT30$ 指標, Tuら⁹⁾による TTV 指標は安定した傾向を示しており, 旅行時間変動曲線から直観的に期待される旅行時間変動を素直に表現していると考えられる。

今後の課題としては,

(3) 計算ケースを増やして検討を継続をすること,

(4) 本ケースでは, 旅行時間変動の推定モデルを使用した, 実際に観測された旅行時間変動を基に, 旅行時間信頼性指標を算出すること, などが挙げられる。

参考文献:

1) 飯田恭敬・若林拓史: プール代数を用いた道路網ノード間信頼度の上・下限値の効率的算出法, 土木学会論文集, No.395/IV-9, pp.75-84, 1988.

2) 例えば, Chao Chen, Alexander Skabardonis and Pravin P. Varaiya (2003). Travel Time Reliability as a Measure of

Service, Proceedings of the 82th TRB Annual Meeting, CD-ROM(03-3456), TRB2003.

3) Lomax, T., Schrank, D. Turner, S. and Margiotta, R. (2003). Selecting Travel Reliability Measures. Texas Transportation Institute and Cambridge Systematics Inc., 2003. (<http://tti.tamu.edu/documents/474360-1.pdf>)

4) FHWA Report (2006). Travel Time Reliability: Making It There On Time, All The Time. US Department of Transportation, Federal Highway Administration, http://www.ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability/index.htm.

5) 山崎浩気・嶋本 寛・宇野伸宏・倉内文孝・小笹浩司・成田 博: ETC データを用いた都市間高速道路の旅行時間信頼性指標についての一考察, 第36回土木計画学研究発表会・講演集, No.36, CD-ROM(No.220), 2007.

6) 川北司郎・北澤俊彦・飛ヶ谷明人・田名部淳・朝倉康夫: 阪神高速道路における所要時間の信頼性に関する分析, 第35回土木計画学研究発表会・講演集, No.35, CD-ROM(No.216), 2007.

7) van Lint, J.W.C., Tu, H. and Van Zuylen, H.J. (2004). Travel Time Reliability on Freeways. Proceedings of the 10th World Conference on Transportation Research (WCTR). Istanbul, Turkey.

8) Enide A.I., Bogers and van Lint, H. (2007). Traveler's Perception of Reliability: How to Measure and How to Influence. Proceedings of The 3rd International Symposium on Transport Network Reliability, Vol.2, Behavior.

9) Tu, H., van Lint, H. and van Zuylen, H. (2007). The Influence of Road Geometry on Travel Time Variability. Proceedings of The 3rd International Symposium on Transport Network Reliability, Vol.1, Network Design II.

10) Wakabayashi, H. (2008). Travel Time Reliability Indexes for Highway Users and Administrators under Uncertain Environment. Proceedings of AATT2008 (Forthcoming).

11) 若林拓史: 降雪および交通規制の不確実性環境下における高規格道路網の信頼性解析, 土木計画学研究・講演集, No.34, CD-ROM(No.237), 2006.