

アップリンクを利用した旅行時間と地点速度データに基づく旅行時間の誤差要因に関する理論的考察

*(株)アイ・トランスポート・ラボ 正会員 堀口 良太
 (財)高速道路技術センター 正会員 高橋 秀喜
 (財)高速道路調査会 折野 好倫
 日本道路公団 正会員 尾高 寛信

1. はじめに

現在, 高速道路上で提供されている旅行時間情報は, 現瞬間の交通状況に基づくものであり, 上流で情報を受けた運転者が実際に経験する旅行時間とは異なる. また, 旅行時間情報は感知器の地点速度を, 区間平均速度と見なしているため, 空間的な連続性が損なわれている.

これに対して, 本線上で収集したアップリンク情報を利用して区間旅行時間を直接計測する方式が検討されている. 本稿では, 提供される旅行時間情報に含まれる誤差要因について理論的な考察を行い, 感知器を用いる場合とアップリンクを用いる場合とで, その精度を比較する. なお, 考察に際しては, 計測単位区間長や情報更新間隔の影響についても検討している.

2. 旅行時間情報に含まれる誤差要因の整理

以降では, ある瞬間の交通状況に基づく旅行時間を「同時刻和旅行時間」, 時空間上で車両が走行する軌跡に沿った旅行時間を「追跡時刻和旅行時間」と呼ぶ. 図 - 1 は現在提供されている同時刻和旅行時間が, その情報を受けた運転者が実際に体験する追跡時刻和旅行時間と異なる理由を, 時空間上に示したものである. すなわち, 同時刻和旅行時間の算出に用いられている「時空間セル」と, 追跡時刻和旅行時間に用いられる「時空間セル」を比べると, ハッチングされている部分の交通状況が異なっていることで誤差が生じるものである.

ここで, 提供される旅行時間に含まれる誤差を, 発生要因の違いによって次の 3 つに分類しよう.

- 同時刻和旅行時間の観測方法に伴う誤差
- 提供情報の鮮度落ちによる誤差
- 追跡時刻和旅行時間との違いによる誤差

の観測方法に伴う誤差は, 本来その瞬間における道路上の速度分布, すなわち空間平均速度として与えら

れるべき同時刻和旅行時間だが, 航空撮影でもしなければ知ることができないため, 実際にはフローティング車両の走行時間や感知器の地点速度情報から推計する際に生じるものである. この誤差は, 観測手法や計測単位区間長, 集計時間幅などの条件に依存する.

の情報の鮮度落ちによる誤差は, 情報を受ける車両が上流に到着する時刻より先に同時に同時刻和旅行時間が更新されているため, この間の交通状況の変化が考慮されていないために生じるものである. この誤差は情報の更新間隔を短くすることで小さくできる.

の追跡時刻和旅行時間との違いによる誤差は, 当該車両が対象区間に到着した現在時刻と, 実際に渋滞末尾に到着する将来時刻までの間に, 交通状況が変化することで生じるものである. この誤差は予測技術によって小さくすることを図らなければならない.

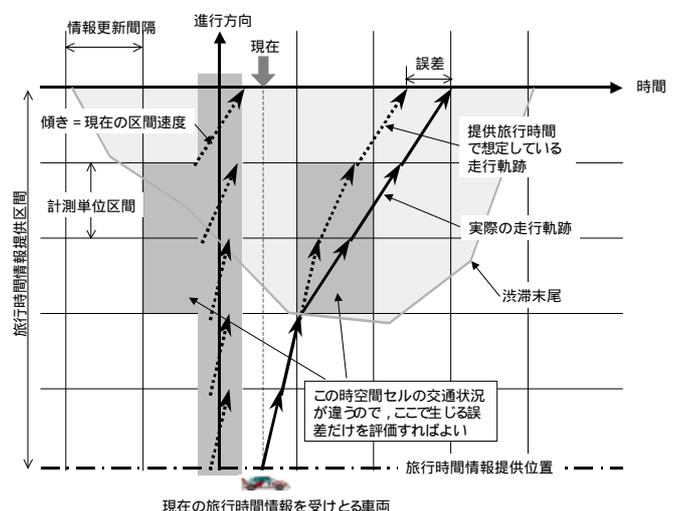


図 - 1 渋滞の変化により生じる旅行時間の誤差

3. 誤差要因の理論的考察

では, 単一のボトルネックに起因する渋滞が変化するとき, 提供される旅行時間に含まれるこれらの誤差要因がどのように求められるかを考察しよう. 以下では, 下流端がボトルネックである長さ L の区間に, ボトルネック容量 Q_c を上回る一定の需要 Q^* が到着し, 時刻 $t=0$ から渋滞が延伸し始める場合を考える.

Keywords: 旅行時間, 精度, アップリンク

*連絡先: horiguchi@i-transportlab.jp

03-5261-3077

渋滞流区間と自由流区間の交通状態が均質であると仮定すれば,自由流速度 v^F ,渋滞流速度 v^J ,および渋滞末尾の延伸速度 v^* は,当該区間の交通量 - 密度関係からそれぞれ図 - 2 のように求められる.

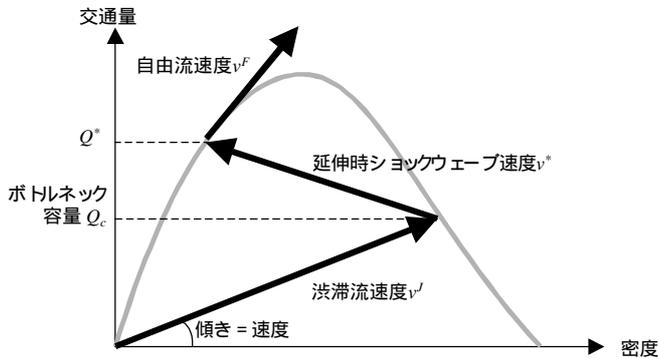


図 - 2 交通量密度関係とショックウェーブ伝播速度
以降では,上述他に次の変数を用いる.

- dL : 旅行時間計測単位区間長
- dt : 旅行時間情報更新間隔
- $x^V(t)$: 時刻 t での下流端からの車両位置
- $x^J(t)$: 時刻 t での下流端からの渋滞末尾位置
- i : 旅行時間情報提供時間帯の添字(0,1,...)
- j : 計測単位区間の添字(下流から0,1,...)

また,任意の時刻 t における同時刻和旅行時間 $T(t)$ は次式で定義される.

$$T(t) = \frac{x^J(t)}{v^J} + \frac{L - x^J(t)}{v^F} \quad (1)$$

同時刻和旅行時間の観測方法に伴う誤差

1) アップリンクを利用して観測する場合

今,観測対象車両が十分短い間隔で通過しており,最新のアップリンクで得られた旅行時間データから速度を計算できると仮定しよう.図 - 3は, j 番目区間の i 番目時間帯で提供される旅行時間情報を与える速度と,時刻 idt における真の同時刻和旅行時間を与える速度の違いを示すものである.すなわち,最新のアップリンクを与える車両は時刻 idt での交通状況に基づく同時刻和旅行時間ではなく,その車両が当該区間で渋滞末尾に出会う時刻 $t' < idt$ での同時刻和旅行時間であることを示している.よって,時空間セル ij においてアップリンクで同時刻和旅行時間を観測するときの誤差 \hat{E}_{ij} は $T(t')$ と $T(idt)$ の差として,次式で求められる.

$$\hat{E}_{ij} = d_j \left(\frac{x^J(t') - x^J(idt)}{v^F} + \frac{x^J(idt) - x^J(t')}{v^J} \right) \quad (2)$$

ここで, \hat{E}_{ij} は渋滞末尾が時空間セル($i-1, j$)を通過する場合に 1 となり,それ以外は 0 となる変数である.また, $i=j=1$ の場合に最新のアップリンクを与える車両が渋滞末尾に到着する時刻 t' は次式となる.

$$t' = \frac{v^J idt + jdL}{v^J + v^*} \quad (3)$$

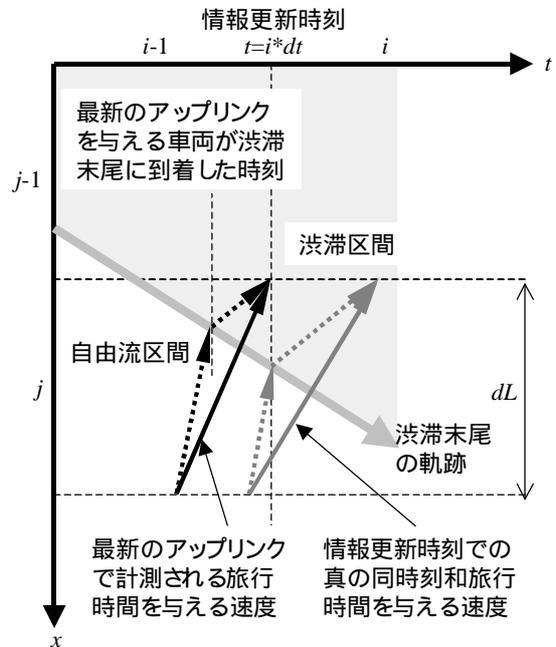


図 - 3 ETCアップリンクで計測される旅行時間の誤差
2) 感知器の地点速度で代表させる場合

比較のため,計測単位区間の中央に設置した感知器の地点速度を区間代表速度とした場合を考える.区間代表速度は,感知器が十分短い間隔で計測している瞬間地点速度の時間平均値として求められており,本来は空間平均として求められるべき同時刻和旅行時間と全く異なる量を観測している.

時空間セル($i-1, j$)において感知器断面で求めた時間平均速度 \hat{v}_{ij} に基づく旅行時間 \hat{T}_{ij} は次式で示される.

$$\hat{T}_{ij} = \frac{dL}{\hat{v}_{ij}} \quad (4)$$

$$\hat{v}_{ij} = v^F \frac{dt - \hat{T}_{ij}^J}{dt} + v^J \frac{\hat{T}_{ij}^J}{dt} \quad (5)$$

ここで, \hat{T}_{ij}^J は時空間セル($i-1, j$)における渋滞時間を意味する.渋滞末尾は速度 v^* で上流に伝播しているので,区間 j の感知器断面を渋滞末尾が通過する時刻 t_j^* と渋滞時間は次のように求められる.

$$t_j^* = \left(j + \frac{1}{2} \right) \frac{dL}{v^*} \quad (6)$$

$$\hat{T}_{ij}^J = \begin{cases} idt - t_j^* & \cdots (i-1)dt < t_j^* \leq idt \\ dt & \cdots t_j^* \leq (i-1)dt \\ 0 & \cdots idt < t_j^* \end{cases} \quad (7)$$

よって(4)式の値と,時刻 idt での区間 j の空間平均旅行時間との差が,感知器によって計測した場合の誤差 \hat{E}_{ij} となる(式は省略)。

提供情報の鮮度落ちに伴う誤差

時間帯 i において,時刻 t に当該区間の上流端に到着した車両には,本来その瞬間での同時刻和旅行時間が提供されるべきだが,実際には直前の情報更新時刻 idt での旅行時間が提供される。従って,渋滞が時刻 idt から t までの間に变化した量に応じて,誤差 $E_i^{\#}$ が生じる。これは(2)式の考え方と同様に次式で与えられる。

$$E_i^{\#}(t) = \frac{x^J(idt) - x^J(t)}{v^F} + \frac{x^J(t) - x^J(idt)}{v^J} \quad (8)$$

この誤差には,計測単位区間長の影響がないので,区間の添字 j が含まれない。

追跡時刻和旅行時間との違いによる誤差

時刻 t に当該区間に流入した車両の追跡時刻和旅行時間は,当該車両が渋滞末尾に到着する将来の時刻 t^* における同時刻和旅行時間と等価である。従って,厳密に時刻 t での同時刻和旅行時間を求めても,将来の時刻 t^* までの間に渋滞区間長が变化した分だけの誤差 E^* が含まれる。すなわち次式である。

$$E^*(t) = \frac{x^J(t) - x^J(t^*)}{v^F} + \frac{x^J(t^*) - x^J(t)}{v^J} \quad (9)$$

この場合には情報提供時間帯の添字 i も含まれない。なお,時刻 t に当該区間に到着した車両が渋滞末尾に到着する時刻 t^* と位置 $x^*(t^*)$ は次のように求められる。

$$t^* = \frac{L - x^J(t)}{v^F + v^*} = \frac{L - v^*t}{v^F + v^*} \quad (10)$$

$$x^*(t^*) = v^*t^* = \frac{v^*(L - v^*t)}{v^F + v^*} \quad (11)$$

以上より,アップリンクを利用した同時刻和旅行時間と追跡時刻和旅行時間の誤差 E は,式(2),(8)および(9)の3種類の誤差の和として求められる。ここでの考察は渋滞延伸時についてのものであるが,解消時も同様の手法で誤差を解析的に求めることができる。

4. ケーススタディ

実際的な渋滞状況において,提供旅行時間に含まれる誤差を把握するため,図-4のケーススタディで計算した例を示す。ここでは,京葉道路上り・宮野木 JCT 船橋 TB の約 10km 区間において日常的に発生する渋滞を想定した。渋滞の延伸・解消速度は,当該区間の交通量-密度関係から,それぞれ5km/hと5km/hとした。以下では,計測単位区間長を2~10kmに,また更新間隔を1~10分に変えた場合,アップリンクを利用した旅行時間と,感知器を利用した旅行時間がどのような誤差を伴っているかを解析する。

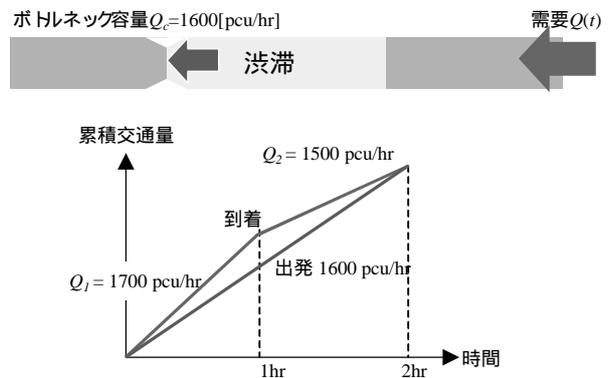


図-4 ケーススタディの設定

図-5は計測単位区間長を2km,更新間隔を5分として,アップリンクで計測した旅行時間の誤差を,~の要因別に示したものである。また図-6は計測単位区間長が10kmの場合である。の鮮度落ちによる誤差との同時刻和の誤差は,観測方法によらないので,両者で変わらない。単位区間が長くなるとの観測方式による誤差は1分程度大きくなるが,後述するように同様の設定で感知器を用いた場合と比べると,影響は小さい。

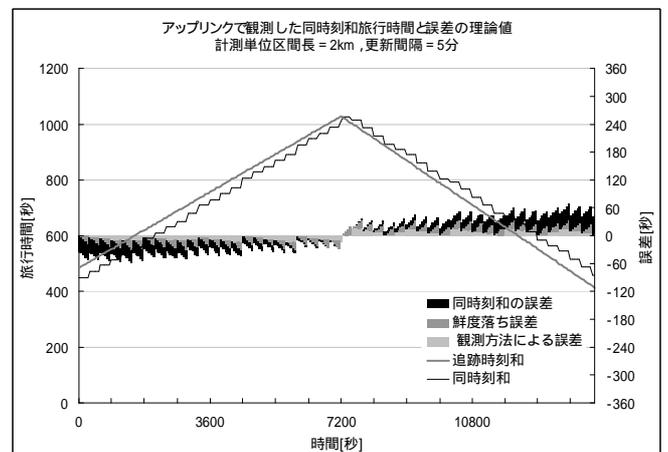


図-5 アップリンク旅行時間の誤差 (単位区間2km,更新5分)

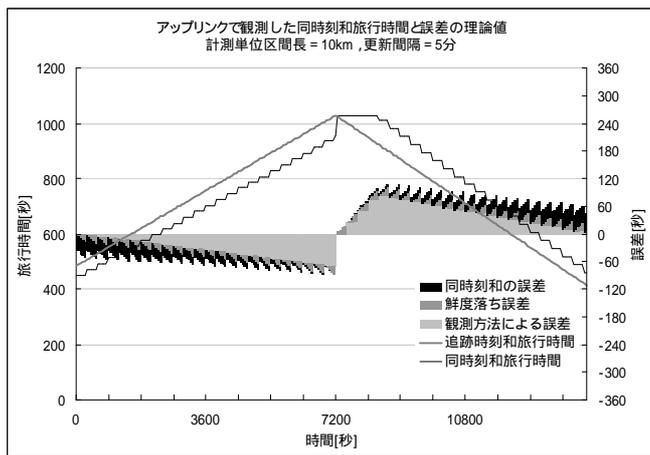


図 - 6 アプリックで観測した同時刻和旅行時間と誤差の理論値

計測単位区間長 = 10km, 更新間隔 = 5分
 図 - 7は更新間隔を 10 分とした場合の, アプリックで計測した旅行時間の誤差である. アプリックの場合, の情報の鮮度落ちによる誤差のみが大きくなり, の観測方式による誤差には, 更新間隔の影響が含まれないため, 図 - 5と変わらないことが示されている.

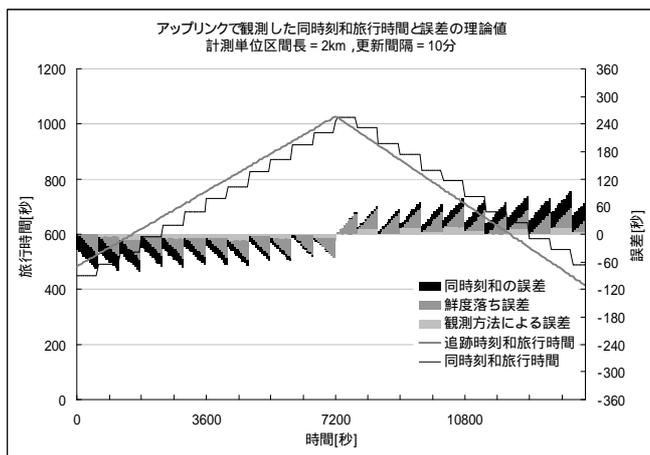


図 - 7 アプリックで観測した同時刻和旅行時間と誤差の理論値

計測単位区間長 = 2km, 更新間隔 = 10分
 図 - 8はアプリックで求めた旅行時間の絶対値誤差率を示したものである. 計測単位区間長が長くなると誤差は大きくなるが, 誤差率にするとあまり変わらないことがわかる. 渋滞長が最大になるピーク時刻で誤差率が小さくなっているのは, 当該車両が流入した現在時刻と渋滞末尾に到達する将来時刻が近づくためである. また, 着時間ベースで計測するため, 渋滞末尾のショックウェーブが進行方向へ伝播する解消時の方が, 延伸時よりも若干誤差が大きくなっている.

一方, 図 - 9は同様の設定で, 感知器により求めた旅行時間の絶対値誤差率である. アプリックの場合と比べると, 計測単位区間が長くなったときに誤差が著しく増加する. 計算例では 10km の区間を 1 力所の感知器断面で代表した場合は, 誤差率は 40% にもなる. また, 計

測区間長が 2km の場合でも, アプリックによる旅行時間と比べると, 1.5 ~ 3 倍近い誤差率になっている.

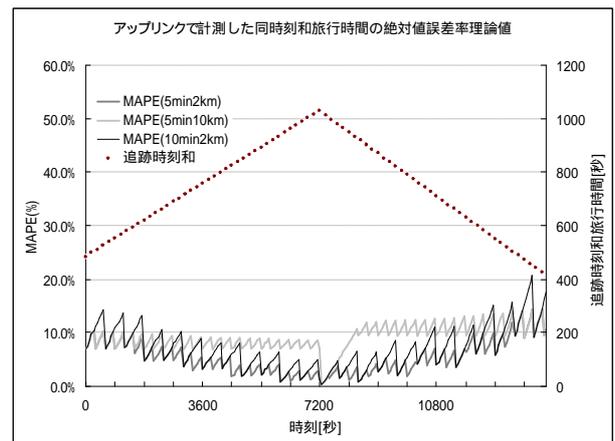


図 - 8 各設定でのアプリック旅行時間の絶対値誤差率比較

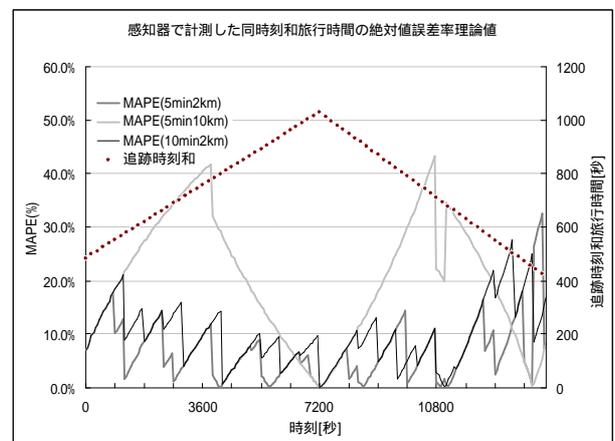


図 - 9 各設定での感知器旅行時間の絶対値誤差率比較

5. 結論

以上の考察で, アプリックから求めた旅行時間と感知器で求めた旅行時間を比べると, 前者の方が精度に優れ, また計測単位区間長の増減に対してロバストであることが示された. サイドファイア方式の簡易なアプリック情報収集装置であれば, 埋め込み式のループ型感知器より安価でメンテナンス性に優れている可能性があり, 今後はこのような旅行時間観測方式の活用が期待される. 謝辞

本研究を進めるにあたり, 千葉工業大学 赤羽教授より貴重なご意見を頂戴しましたことに感謝の意を表します.