

# 交通流への影響を考慮した 高速道路情報板故障時の利用者の社会損失分析

中川 岳士<sup>1</sup>・川崎 洋輔<sup>2</sup>・梅田 祥吾<sup>3</sup>・  
水谷 大二郎<sup>4</sup>・生嶋 理恵<sup>5</sup>・桑原 雅夫<sup>6</sup>

<sup>1</sup>学生会員 東北大学 大学院情報科学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)  
E-mail:takeshi.nakagawa.p3@dc.tohoku.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東北大学助教 大学院情報科学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)  
E-mail:kawasaki-y@plan.civil.tohoku.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 東北大学研究員 大学院情報科学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)  
E-mail:umeda@plan.civil.tohoku.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 東北大学助教 災害科学国際研究所 (〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉468-1)  
E-mail:mizutani@irides.tohoku.ac.jp

<sup>5</sup>非会員 西日本高速道路エンジニアリング関西株式会社 (〒567-0032 大阪府茨木市西駅前町5番26号)  
E-mail:r\_ikushima@w-e-kansai.co.jp

<sup>6</sup>正会員 東北大学教授 大学院情報科学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)  
E-mail:kuwahara@plan.civil.tohoku.ac.jp

本研究では、高速道路情報板の故障確率を定量化し、その故障が利用者を与える社会損失を評価した。インフラの老朽化が進む近年では、維持管理に対する社会的要請はきわめて大きくなっている。しかし、道路施設の維持管理については、故障過程が定量化された事例は過去にほとんどない上、施設故障が利用者側の社会損失に与える影響評価も行われていない。そこで、本研究では、ネットワーク交通流に影響する高速道路情報板に着目し、故障過程のモデル化および社会損失の定量化を試みた。情報板の故障確率は、これまでに蓄積された実際の故障データをもとにワイブル分布を用いて推定した。社会損失は、交通流データをもとに渋滞による影響を考慮した定式化を行い、評価した。評価の結果、2経路のみで構成される単純なネットワークにおいて、具体的な損失金額を導出し、損失評価の可能性を示した。

**Key Words :** *infrastructure, maintenance, social benefit assessment, traffic flow, sensing data*

## 1. はじめに

インフラの老朽化が進む近年では、道路施設を含めたインフラの維持管理に対する社会的要請はきわめて大きくなっている。道路管理者は管理しているインフラの価値を最大化するように、個々の施設を適切にマネジメントする必要がある。そのためには、当該インフラの価値を定量化する必要があるが、劣化や故障が交通流に影響を与える道路施設に関しては、故障過程が定量化された事例は過去にほとんどない上、施設故障が利用者側の社会損失に与える影響評価も行われていない。

このような道路施設に対して、渋滞や事故を防止するといった交通流への影響を考慮した維持管理による社会損失を評価し、その社会損失からライフサイクル費用や事故リスクを差し引いた社会的余剰を最大化することで価値を定量化するという手法を新たに構築することが求

められる。

そこで、本研究では、道路施設の一つである高速道路の入口情報板および出口情報板に着目する。数ある道路施設の中で出入口の情報板を選ぶ理由は、故障の有無が利用者直接的影響を及ぼし、かつその影響が道路ネットワークに波及すると考えたためである。道路情報板は、安全かつ円滑な交通を確保し、利用者の経路選択を支援することを目的として設置された重要な道路施設である。情報板が故障すると、道路利用者は最適な経路選択行動を取れなくなり、円滑な交通の確保に支障を及ぼすことが懸念される。特に、入口情報板と出口情報板は、利用者的高速道路への流入および流出判断への関与が大きいと考えられる。しかし、前述のように出入口の情報板の故障過程や社会損失は、これまで明らかとなっていない。

したがって、本研究では、入口および出口情報板の故

障確率の定量化と、情報板故障が利用者に与える社会損失の評価について、これまでに蓄積された維持管理記録と交通流データの科学的分析結果をもとに提案する。

## 2. 既往研究の整理

これまでのインフラの維持管理最適化を目的とした研究において、既往研究の多くはライフサイクル費用の最小化とリスク管理水準の設定を用いた手法に基づき、維持管理施策の評価を行っている。

このようなアプローチは、橋梁部材や舗装構造などの、ある劣化状態に到達したときに莫大な損失を招くことが明らかであるような構造物やシステムに対しては有用である。たとえば、小林ら<sup>1)</sup>はこの手法を用いて、舗装構造の最適補修更新モデルを提案している。また、慈道・小林<sup>2)</sup>は、水道施設などの劣化水準が不確実に変動する土木施設を対象に、同様の手法で最適点検・修繕ルールを提唱している。青木ら<sup>3)4)</sup>は、トンネル照明システムなどの同一種類の多数の施設で構成されるシステムの最適点検・補修政策について、ワイブル劣化ハザードモデルを用いた同様の手法で、最適点検・補修モデルを構築している。

しかし、高速道路のETC施設や情報板といった渋滞や事故を誘発して交通流に影響を与える道路施設に関しては、どの程度影響を与えるのかが定量的に検証された例がほとんどない。そのため、ライフサイクル費用最小化の際のリスク管理水準の合理的な設定が困難である。交通流やネットワークの影響を考慮した損失の定量化自体は山口ら<sup>5)</sup>や杉本ら<sup>6)</sup>が検証しているが、いずれも橋梁などの構造物が対象であり、交通流に影響を与える施設の故障については検証されていない。

このような施設の故障過程が実データを用いて定量化された例も少ない。山本ら<sup>7)</sup>は、道路施設の情報板などを制御している大規模交通管制システムについて、ランダム比例ワイブル劣化ハザードモデルを用いた動的故障解析を行っている。その中で時間の経過に伴って変化する情報システムの機器群の故障確率の変化や、機器の復旧時間の変化が、情報システムの故障確率や、故障による影響度の時間的変化に及ぼす影響を、モンテカルロ・シミュレーションを用いて分析している。しかしながら、解析はヒアリングに基づいたシミュレーションによるものであり、実データを用いた解析は行われていない。志田ら<sup>8)</sup>は、鉄道信号設備における故障の発生傾向について実データを用いて分析し、年間の経済的損失コストモデルを提唱することで、ライフサイクルコストの低減を

考察している。しかし、対象が鉄道信号設備であるため、実データを用いた道路施設の故障過程の定量化とはいえない。

そこで、道路施設に関しても、渋滞や事故を防止するといった交通流への影響を考慮した維持管理による社会損失を評価し、その社会損失からライフサイクル費用や事故リスクを差し引いた社会的余剰を最大化することで価値を定量化する、という手法を新たに構築することが求められる。

よって、本研究では、供用状況下の道路施設の一つである情報板の故障確率の定量化と、施設故障が利用者に与える社会損失の評価について、新たに提案する。とくに、故障施設が利用者に与える社会損失の評価については、交通流への影響を考慮した交通工学的的手法によって評価する。このとき、従来の道路整備等における損失算定においては、総走行時間費用、総走行経費、交通事故の社会的損失の3便益が損失項目として計上されている。しかし、本研究で対象とする「道路施設の故障による損失算定」では、計算の簡略化のため、3便益のうち最も損失額が大きい道路の走行時間の円滑性の向上のみに注目することとし、総走行時間費用のみの計上に留めるものとする。

## 3. 情報板故障による損失発生 の仮定

### (1) 損失が発生する渋滞パターンとその仮定

情報板が故障すると、道路利用者の経路選択行動に支障を及ぼすことが懸念される。たとえば、情報板が故障したことによって下流での渋滞発生を知るのが遅れてしまい、迂回の機会を逃して渋滞に巻き込まれてしまう、というケースが挙げられる。このような情報板の故障による利用者の損失が発生する状況は、図-1のフローチャートのように示すことができる。フローチャートより、情報板故障による損失は、「A. 故障地点の下流で事故や渋滞が発生している」、「B. 迂回路が存在する」ならびに「C. 渋滞に巻き込まれる前に、先の道路情報を入力できていない」の3パターンの利用者が被ることがわかる。

上記を踏まえ、本研究では、情報板の故障により損失が発生する渋滞パターンを次のように仮定する。

- 仮定1：当該出入口の下流にある最初の代替経路選択地点よりも上流に、渋滞末尾が伸びている。

なお、図-2、図-3は、上記の渋滞パターンが、入口情報板および出口情報板故障時に発生した際の状況を模したものである。

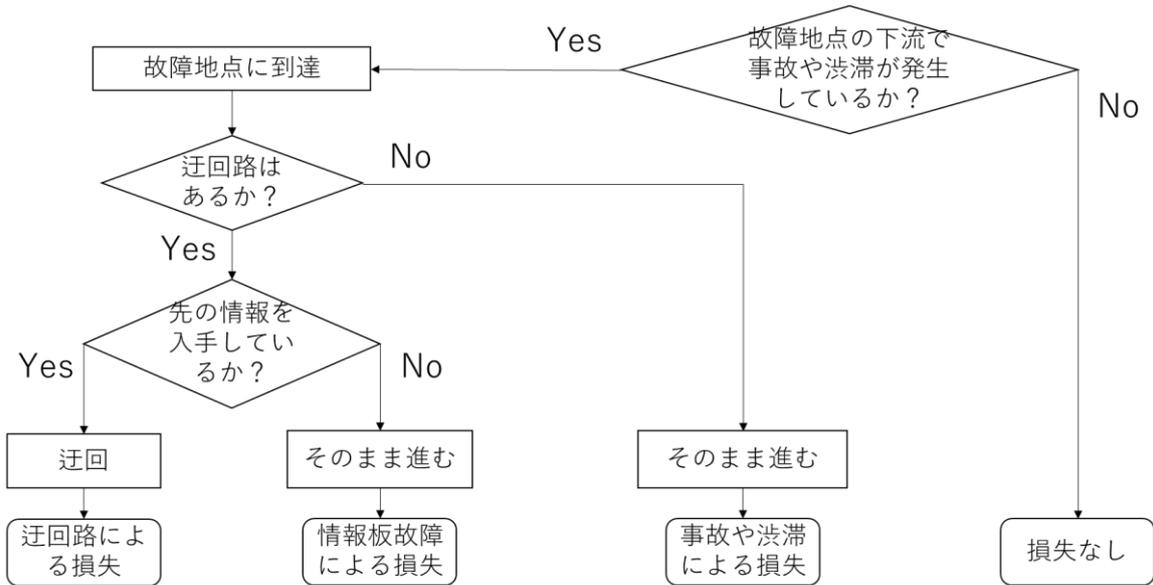


図-1 利用者の損失パターンフロー

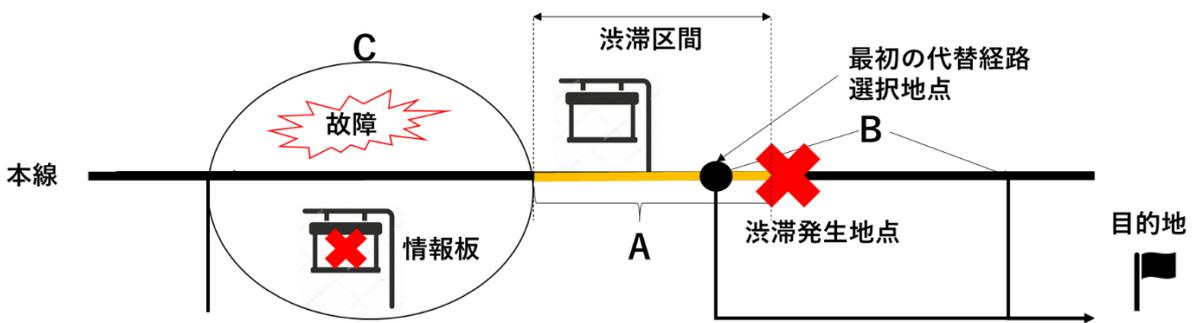


図-2 入口情報板故障発生時の道路状況

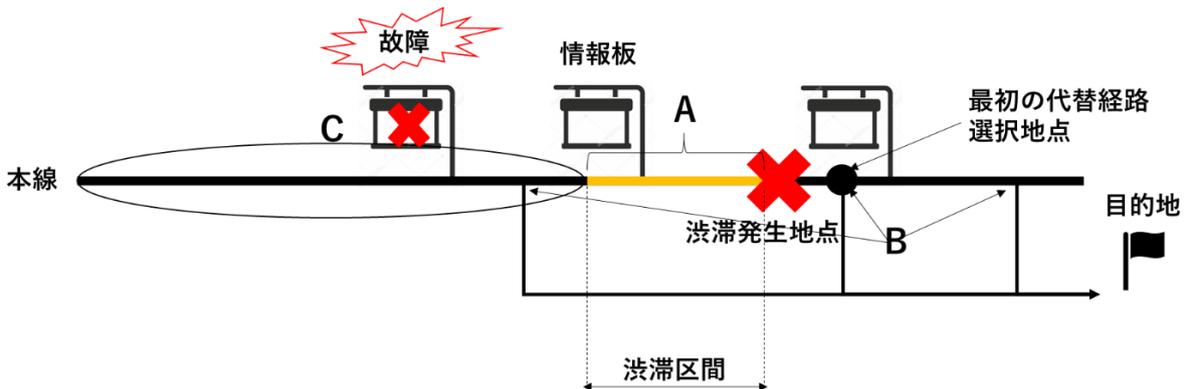


図-3 出口情報板故障発生時の道路状況

(2) ドライバーの行動仮定

道路上を走行するドライバーは、ある行動原理をもって行動すると考えられる。

本研究では、ドライバーの行動に次の仮定を置く。

- 仮定2：一般道路では一定の速度で走行する。
- 仮定3：次の経路選択地点において、ドライバーは本線を進むか、迂回行動をとるかを、その直前で最後に得た情報板の情報をもとに合理的な判断を行い、常に最小コストの経路を選択する。
- 仮定4：迂回路は、所要時間が最短の経路のみ考慮

する。

- 仮定5：ドライバーは、交通状況の如何にかかわらず、出発地および目的地を変更しない。
- 仮定6：ドライバーが運転する車種は、乗用車のみとする。

(3) 交通状況の仮定

情報板の故障による損失を導出するとき、故障によるネットワークの渋滞状況の変化を考慮する必要がある。なぜなら、情報板の故障が原因で情報を受け取れないドライバーが発生することで、ドライバーが選択する経路に変化が生じるからである。たとえば、図-2、図-3で故障発生時にCの位置にいたドライバーは、情報板の故障によって高速道路本線の渋滞情報が得られず、渋滞を迂回できないと考えられる。そのため、渋滞状況の変化を考慮しないと、図-2、図-3で示している渋滞長を実際に故障した場合よりも小さく見積もってしまうと予想される。

しかし、本研究で導出する損失は、簡単のため、ネットワークに次の仮定を置いて損失を導出する。

- 仮定7：情報板の故障による渋滞状況の変化は考慮しないものとする。

また、交通状況は時々刻々と変わるものであるが、上記と同様に簡単のため、ここでは、交通状況が、1年周期で初年度と同じ状態が繰り返されるとし、以下のように仮定する。

- 仮定8：交通状況は、毎年、初年度と同じパターンが繰り返される（年単位での交通変動はないと仮定する）。

(4) 故障確率の仮定

情報板の故障確率は、施設を設置してから時々刻々と変化していくと思われるが、簡単のため、1年単位でのみ故障確率が変化するとし、以下のように仮定する。

- 仮定9：故障確率は、1年間は、一定の値をとるものとし、1年周期で変動する。

4. 2地点間における情報板故障による損失額の算定方法

(1) 損失算定の手順

損失の導出フローは、図-4に示すとおりである。第3章で設定した仮定を満たすような渋滞状況を想定すると、それに応じて各ドライバーの走行時間が変化するため、経路選択が更新される。この結果から交通状態を推定し、第5章で推定する故障確率をもとに損失を算定すること

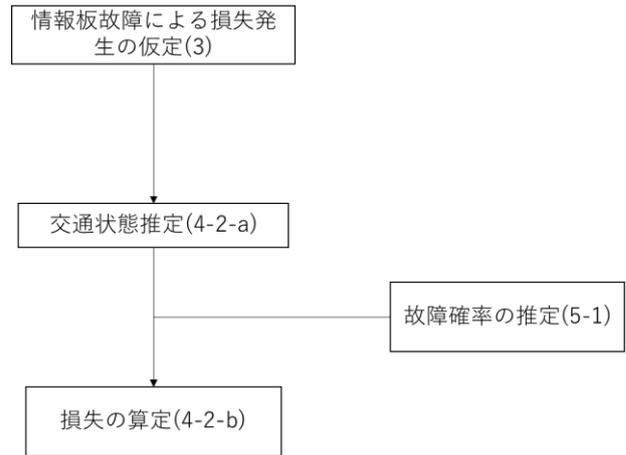


図-4 情報板故障による損失の導出フロー

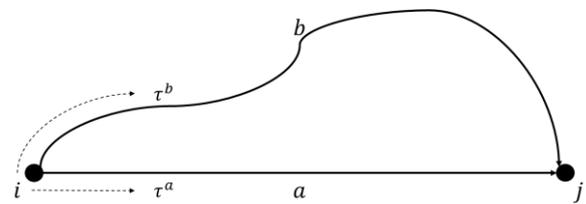


図-5 ネットワーク例 (2ノード・2経路の場合)

で、具体的な損失金額を示すことができる。

(2) 損失の計算

a) 交通状態推定

ここでは、図-5のようなある2つのノード間の2経路a, bのみのネットワークを考える。

渋滞が発生した場合、すべてのドライバーは情報板の情報をもとに合理的な行動をとるため、得られたIC間OD表から全てのドライバーの経路選択を更新する。経路選択の更新は、以下の式(1)で定義する。

$$\begin{cases} \text{if } \tau^a(t) - \tau^b(t) \leq 0, & a \\ \text{else,} & b \end{cases} \quad (1)$$

式(1)では、ドライバーが時刻tにおいて本線a, 迂回路bそれぞれの所要時間 $\tau^a(t)$ ,  $\tau^b(t)$ の小さいほうを選択する経路選択行動をモデル化している。

b) 損失の算定

式(1)の各ドライバーの経路選択結果をもとに、ノードiの情報板が故障した際に最適な経路選択ができなかったドライバーに対して発生する損失分を、総走行時間損失として計算する。

時刻tにおける流入交通量(台/分)を $q(t)$ 、迂回確率をp、時間価値原単位(円/分・台)を $\alpha$ と定義すると、

時刻 $t$ ある時刻 $t$ においてノード $i$ で情報板が故障したときの走行時間損失は

$$LT(t) = \begin{cases} \text{if } \tau^a(t) - \tau^b(t) > 0, & \{\tau^a(t) - \tau^b(t)\}q(t)(1-p)\alpha \\ \text{else,} & 0 \end{cases} \quad (2)$$

で示される。ここで迂回確率とは、情報板が故障していたとしても高速道路本線の渋滞を迂回できるドライバーの割合である。たとえば、迂回確率が0のとき、ドライバー全員が迂回できずに高速道路本線の渋滞に巻き込まれる状況を表している。

式(2)について、時刻 $t$ から $t+T$ において故障が発生すると考えると、保全 $k$ を行ったときのある1年間の走行時間損失の期待値 $LT^{(k)}(n)$ は、以下の式(3)のようにあらわされる。

$$\begin{aligned} LT^{(k)}(n) &= \int_0^\infty \left( \int_{nY}^{(n+1)Y} f^{(k)}(t)p_b(t,T) \left( \int_t^{t+T} LT(x)dx \right) dt \right) dT \\ &\approx \int_0^\infty \left( \int_{nY}^{(n+1)Y} f^{(k)}(n)p_b(n,T) \left( \int_t^{t+T} LT(x)dx \right) dt \right) dT \\ &= \int_0^\infty \left( f^{(k)}(n)p_b(T) \left( \int_{t=0}^Y \left( \int_t^{t+T} LT(x)dx \right) dt \right) \right) dT \\ &= f^{(k)}(n) \int_0^\infty (p_b(T)\Gamma) dT \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)では、走行時間損失 $LT(t)$ に時刻 $t$ に故障する確率を乗じ、それを年間の全時刻( $t = nY, \dots, (n+1)Y$ )で積分している。ここで、 $n(= \{1, 2, \dots, N-1\})$ は情報板設置からの経過年数、 $Y$ は年間を表す時間単位を示している。このとき、利用者の損失は情報板の故障時間ごとにはばらつきが出ると考えられる。そのため、故障時間について、

「 $T$ 時間故障した」という時間長別に確率 $p_b(t, T)$ を設定する。これについても全時間長で積分する。ここまでの時刻と故障時間の全パターンの積分については、表記の

簡略化のため、 $\left( \int_{t=0}^Y \left( \int_t^{t+T} LT(x)dx \right) dt \right) = \Gamma$ と置き換えて整理している。また、仮定8より、保全 $k$ を行った場合に時刻 $t$ に情報板が故障する確率 $f^{(k)}(t)$ は、1年間は一定の値をとると考え、 $f^{(k)}(n)(n = \{1, 2, \dots, N\})$ に近似した。故障時間確率 $p_b(t, T)$ についても、仮定9より、1年

単位でしか変動しないと考え、 $p_b(T)$ に近似した。これらの近似の結果、最終的な導出式は、故障確率とそれ以外の部分に分離することができる。

保全 $k$ を行ったときのある情報板の設置から故障までの総走行時間損失の期待値 $LT^{(k)}$ は、以下の式(4)のように求められる。

$$\begin{aligned} LT^{(k)} &= \int_0^\infty \left( \int_{t=0}^{t=F} f^{(k)}(t)p_b(t,T) \left( \int_t^{t+T} LT(x)dx \right) dt \right) dT \\ &\approx \int_0^\infty \left( \sum_{n=0}^N f^{(k)}(n)p_b(T)\Gamma \right) dT \\ &= \left( \sum_{n=1}^N f^{(k)}(n) \right) \int_0^\infty (p_b(T)\Gamma) dT \\ &= H \int_0^\infty (p_b(T)\Gamma) dT \end{aligned} \quad (4)$$

式(4)では、式(3)において年間の全時刻で積分していた部分を、設置から故障までの全時刻( $t = 0, \dots, F$ )で積分している。計算の簡単のため、途中式において、年単位での損失の和を導出する形に変形し、 $(\sum_{n=1}^N f^{(k)}(n)) = H$ と置き換えて整理している。

## 5. 2地点間における情報板の故障確率の推定

### (1) 故障確率の推定方法

本章では、式(3)(4)の損失算定式の中に含まれていた情報板の故障確率 $f^{(k)}(t)$ の推定について検討する。

故障確率の評価については、保全 $k$ ( $P$ のとき予防保全、 $C$ のとき事後保全)を実施したときの情報板 $i$ の生存時間を表す確率変数 $S^{(k)}(> 0)$ を作成し、近似する。 $S^{(k)}$ は確率密度関数 $f^{(k)}(t)$ を持ち、その分布関数 $F^{(k)}(t)$ は、以下の式(5)で表される。

$$F^{(k)}(t) = P(S^{(k)} < t) = \int_0^t f^{(k)}(u)du \quad (5)$$

ここで、本研究では故障データがワイブル分布を持つものとする。その理由は、ワイブル分布によって時間に対する劣化現象や寿命を統計的に記述することができるためである。ワイブル係数(形状パラメータ) $m$ と尺度パラメータ $\eta$ を設定すると、ワイブル分布は、以下の式(6)で表される確率分布を持つ。

$$f^{(k)}(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} \exp\left\{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right\} \quad (6)$$

このとき、ハザード関数は、以下の式(7)のように示される。

$$h^{(k)}(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} \quad (7)$$

また、生存関数は、以下の式(8)で表される。

$$E^{(k)}(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right\} \quad (8)$$

このとき、累積故障率は、

$$F^{(k)}(t) = 1 - E^{(k)}(t) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right\} \quad (9)$$

とあらわせる。ここで、式(9)において、2回対数をとると、以下の式(10)のようにあらわせる。

$$\ln\left\{\ln\frac{1}{1-F^{(k)}(t)}\right\} = m \ln t - m \ln \eta \quad (10)$$

ここで、 $\ln\left\{\ln\frac{1}{1-F^{(k)}(t)}\right\} = Y, \ln t = X$ とおくと、

$$Y = mX - m \ln \eta \quad (11)$$

となり、回帰直線で表現することができる。このときの傾きがワイブル係数 $m$ 、 $Y = 0$ となる $t$ が尺度パラメータ $\eta$ である。すなわち、故障データから $F^{(k)}(t)$ を求めることでパラメータ $m, \eta$ を確定させ、 $f^{(k)}(t)$ を導出することができる。

## (2) 適用事例

本節では、実データを式(5)~(11)に適用し、情報板設置経過年数別の故障確率を求める。図-6は、2005年1月1日~2018年12月31日の関西圏の入口情報板故障データをもとに、横軸に情報板設置からの経過年数（製造から故障までの年数）、縦軸に故障確率をプロットしたグラフである。棒グラフは近似前の実データのヒストグラム、曲線はワイブル分布近似後のグラフを示している。同図の実データのヒストグラムを見ると、情報板設置後、13~14年を境に、故障件数が大幅に増加していることがわかる。また、19~20年を境に故障件数が大幅に減少している。その理由は、その時点まで生存している情報板

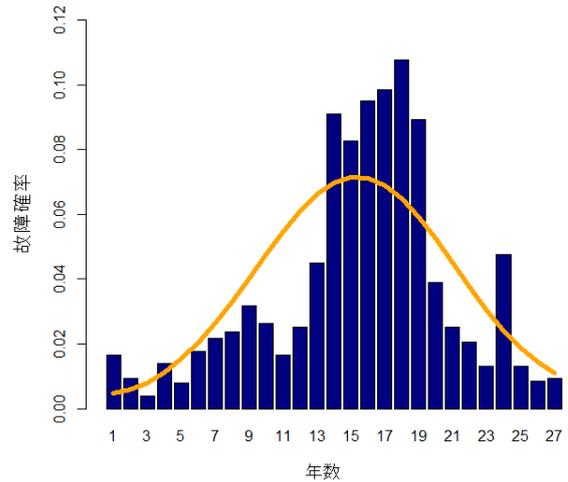


図-6 情報板の故障を示す確率密度関数

が少なくなっているためだと推測される。ワイブル分布では、故障確率が情報板設置14~16年後まで上昇し、その後は緩やかに減少するよう近似していることが読み取れる。また、設置から14~19年経過した情報板に故障が多いということもわかる。

## 6. 情報板故障の損失分析のケーススタディ

本研究における社会損失評価の具体的な適用事例として、平日のピーク時に慢性的な渋滞が発生しているとされる上り・美原北 IC~松原 JCT 間を対象に、2019年に事後保全を行った場合の年間の損失分析を行った。なお、年間の損失は、分析された1週間分のデータを年間に変換する（1週間の損失×365÷7）ことによって推定した値とした。

分析における各変数は次のように設定した。時間価値原単位 $a$ は39.60とした。交通量 $q(t)$ は、2019年8月1日~2019年8月7日の美原北 IC~松原 IC 間のトラカンデータから時間帯比率を導出し、2018年8月2日~2018年8月8日の美原北 IC における日別流入量を乗じて推定した。ドライバーの経路 $a$ における所要時間 $\tau^a(t)$ は、2019年8月1日~2019年8月7日の美原北 IC~松原 JCT 間の所要時間データ（1分単位）から1時間ごとの平均を導出した。経路 $b$ における所要時間 $\tau^b(t)$ については、6分で固定とした。情報板の故障時間確率 $p_b(T)$ は、2005年1月1日~2018年12月31日の関西圏の入口情報板故障データから、1時間きざみで停止する割合を導出した。分単位の端数は切り上げとし、24時間以上の停止は、一律24時間の停止で計上することとした。情報板の故障確率 $f^{(k)}(n)$ は、同データよりワイブルプロットを行い、導出した。月単位の端数は切り上げとし、 $n$ は製造年月



図-7 分析対象経路（上り・美原北IC~松原JCT間）

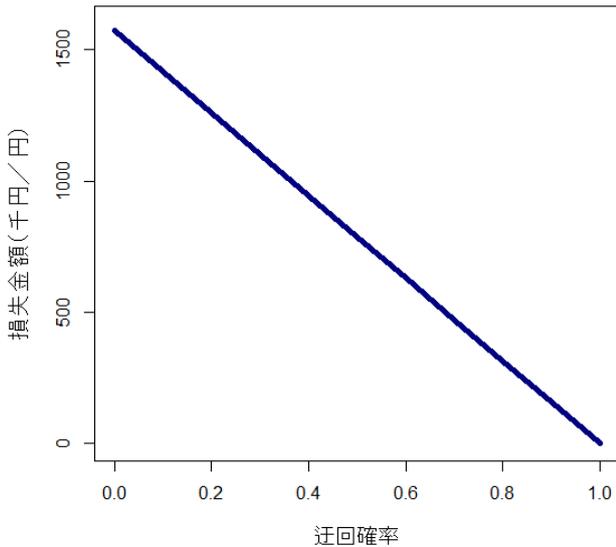


図-8 損失の分析結果（上り・美原北IC~松原JCT間）

日からの年数（今回は $n = 10$ ）を使用した。時刻 $t$  ( $0 \leq t \leq 168$ )と故障時間 $T$  ( $0 \leq T \leq 24$ )は1時間単位で離散化した。迂回確率はハイパーパラメータとし、0.1刻みで設定した。

図-7は、本分析の対象経路を示したものである。本線 $a$ を赤線、迂回路 $b$ を青線で示している。なお、対象経路は本線に沿って下道が通っていたため、本線と迂回路における地図上の見かけの経路はほぼ同じになっている。また、対象区間内に松原ICが存在するが、上り側のオンランプしか存在しないため、区間途中での流出はできない。図-8は、第4章、第5章で定式化した式をもとに算定した迂回確率別の損失を示したグラフである。横軸は、迂回確率、縦軸は年間の損失金額を示している。同図より、迂回確率と損失金額は、比例関係にあることが分かる。すなわち、情報板故障により渋滞を迂回する車両が少ない場合（迂回確率が低い場合）、損失が大きくなると直感的に解釈できる。

## 7. おわりに

本研究では、施設の劣化や故障が渋滞を誘発して交通流に影響を与える出入口の情報板に対して、故障確率を定量化し、その故障が利用者の社会損失に与える影響を評価した。その際、交通工学的手法に基づき、交通流への影響を考慮した損失の定式化を行った。また、これまでに蓄積された情報板の故障データをもとにワイブル分布への近似を行い、年間の故障確率を設定した。最後に、慢性的に渋滞の発生する2地点2経路のネットワークを想定し、実際の交通流データをもとに解析を行った。

本研究の結果により、情報板故障による利用者の損失評価を、交通流への影響を考慮した走行時間変化の観点から定量化できることが明らかになった。また、供用状況下の道路施設の故障確率についても、累積故障データを用いたワイブルプロットを行うことで、新たに定量化できることが明らかになった。

一方で、本研究における課題も明らかになった。課題を以下に3点整理する。

- 1) 現状の仮定では、情報提供による影響の考慮が不十分なことが挙げられる。本研究においては、損失の導出の際に迂回確率のみで一律にSNSやカーナビなどの他のリソースの影響を考慮しており、リソースごとの特性（情報内容や提供のタイミング）を加味できていない。今後の課題として、仮定や定式化を見直し、情報提供による影響も考慮していく必要がある。
- 2) 現時点では2地点間の損失分析のみしか行えていない点が挙げられる。実際のネットワークに当てはめた分析を考えると、広範囲のネットワークでの損失を導出できる手法を構築していくことが必要であるように思われる。そのため、今後は本研究で行った定式化を、多地点での損失分析へ拡張していくことが求められる。
- 3) 維持管理の最適化について評価を行うには、事後保全時だけでなく予防保全時の損失評価やライフサイクル費用の算出も必要である点が挙げられる。本研究では維持管理の最適化における評価の前段階として、高速道路施設の事後保全時の損失評価と、故障確率の定式化を行ったに過ぎない。今後は本格的に評価を行うために、最適な予防保全時における故障確率の検討や、既往研究や実データに基づいたライフサイクル費用の決定などを行っていく必要がある。

謝辞：本研究は、JSPS科研費JP19H00777の助成を受けたものである。また、情報板の維持管理データおよび交通データは、西日本高速道路エンジニアリング関西株式会社より提供されたものである。ここに記して感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 小林潔司, 江口利幸, 大井明, 青木一也, 貝戸清之, 松村泰典: 舗装構造の最適補修更新モデル, 土木学会論文集E1, Vol.68, No.2, pp.54-68, 2012.
- 2) 慈道充, 小林潔司: 不確実性下における最適点検・修繕ルール, 土木学会論文集, No.744/IV-61, pp.39-50, 2003.
- 3) 青木一也, 山本浩司, 小林潔司: トンネル照明システムの最適点検・更新政策, 土木学会論文集, No.805/VI-69, pp.105-116, 2005.
- 4) 青木一也, 山本浩司, 小林潔司: 時間依存型劣化過程を有するシステムの集計的最適点検・補修モデル, 土木学会論文集F, Vol.62, No.2, pp.240-257, 2006.
- 5) 山口亮太, 伊藤裕一, 三木千壽, 市川篤司: 社会的損失を考慮した道路橋のライフサイクルコスト評価の試み, 構造工学論文集, Vol.47A, pp.983-989, 2001.
- 6) 杉本博之, 首藤諭, 後藤晃, 渡辺忠朋, 田村亨: 北海道の橋梁のユーザーコストの定量化の試みとその利用について, 土木学会論文集, No.682/I-56, pp.347-357, 2001.
- 7) 山本浩司, 青木一也, 貝戸清之, 小林潔司: 劣化現象を考慮した大規模交通管制システムの動的故障解析, 土木学会論文集F, Vol.64, No.3, pp.295-310, 2008.
- 8) 志田洋, 大串裕郁, 樋上喜信, 阿萬裕久, 高橋寛: 設備故障が旅客に与える経済的損失を評価尺度とした鉄道信号設備のライフサイクルコストの低減に関する考察, 電子情報通信学会論文誌D, Vol.199-D, No.5, pp.539-548, 2016.

(2019. 10. 4 受付)

## SOCIAL LOSS ANALYSIS OF USERS IN CASE OF FAILING HIGHWAY INFORMATION BOARDS CONSIDERING THE IMPACT ON TRAFFIC FLOW

Takeshi NAKAGAWA, Yosuke KAWASAKI, Shogo UMEDA,  
Daijiro MIZUTANI, Rie IKUSHIMA and Masao KUWAHARA

In this study, the failure probability of highway information boards was quantified. Also, the social loss caused by the failure to the user was evaluated. In recent years, when infrastructure is aging, social demands for maintenance have become extremely large. However, the maintenance of road facilities has been few cases in which the failure process has been quantified in the past. In addition, the impact of failing road facility on social losses of users has not been evaluated. Therefore, in this study, we focused on highway information boards that affect network traffic flow and tried to model failure processes and quantify social losses. The failure probability of the information boards was estimated using the Weibull distribution based on the actual failure data accumulated until now. Social losses were evaluated by formulating the effects of traffic congestion based on traffic flow data. As a result of evaluation, a loss amount was derived, and the possibility of social loss evaluation was shown in a simple network with two nodes and two routes.