

文化遺産防災のための道路モニタリングシステムに関する一考察*

A Study on the Road Monitoring System for Disaster Mitigation of Urban Cultural Heritage*

林 雄一**・塚口博司***・小川圭一****

By Yuichi HAYASHI**, Hiroshi TSUKAGUCHI***, Keiichi OGAWA****

1. はじめに

歴史都市京都には、後世に残すべき文化遺産が多数存在する。歴史的価値が高く、唯一無二の存在である文化遺産は自然災害から守るべき対象であると言える。これらの文化遺産の多くは市街地の中に点在しており、災害に対して脆弱性をはらんでいるため、都市構造や交通ネットワークの整備状況を把握した上で文化遺産防災について考えることが必要である。このような視点から文化遺産防災について考える場合、災害発生時に文化遺産を災害から守るために重要となる道路リンクの被害状況を迅速かつ的確に把握するシステムとして、道路モニタリングシステムが効果的であると思われる。

そこで本研究では、文化遺産防災における重要な道路リンクに対する道路モニタリングシステムの構築を目指して、①文化遺産防災における重要リンクの脆弱性を把握し、次に、②道路モニタリングシステム導入における情報価値を定量化し、さらに③文化遺産防災において、特に優先すべきモニタリング地点を選定することによって、文化遺産が点在する歴史都市京都の地域防災力向上を目指す。

2. 道路モニタリングシステム構築の重要性

地震などの自然災害が発生した場合、文化遺産に対する消火を迅速に行うためには、まず各文化遺産における自主的な消火活動等が重要であるが、続いて消防署による本格的な消火活動が不可欠である。そこで、文化遺産と消防署を結ぶ重要リンクがどの程度機能障害を起こしているのか、つまり被害状況を迅速に把握することが必

要である。そのためには、重要リンクの被害状況をリアルタイムで把握するシステムとして、カメラを用いた道路モニタリングシステムを構築することが効果的ではないかと考える。この道路モニタリングシステムは、災害時においては緊急車両の経路誘導、一般車両の抑制といった交通マネジメントに活用するとともに、平常時においても交通渋滞の把握ならびに交通管理などに応用することが期待でき、利用価値が高いと考える。

3. 3次元CGシステムを用いたカメラ設置候補地点の選定

東山区には、特に文化遺産が密集し、重要リンクが多数存在している。そこで筆者らは、3次元CGシステムを用いてこの区域におけるカメラの設置候補地点を提案している。

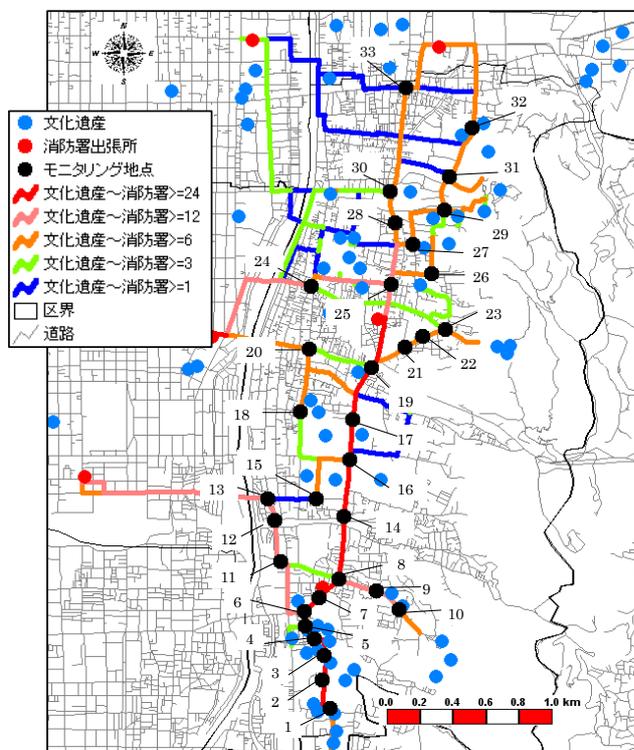


図1 京都市東山区におけるモニタリング候補地点の提案

*キーワード: 文化遺産防災、道路モニタリングシステム、3次元CGシステム、情報価値、エントロピー

**正員、三菱重工業株式会社

***フェロー会員、工博、立命館大学理工学部 都市システム工学科、(〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 TEL: 077-561-2735, FAX:077-561-2667)

****正会員、博士(工学)、立命館大学理工学部 都市システム工学科

4. 文化遺産防災における脆弱道路区間の抽出

(1) 道路区間の定義

本稿における道路区間は、図1に示す3次元CGシステムを用いて求めたモニタリング設置候補地点に基づいて選定する。図1の地点は、1台の監視カメラが見通すことのできる限界地点に次のカメラを設置するという方法で設定されている。そこで、図1に示すモニタリング候補地点間=道路区間と定義し、道路区間別道路閉塞確率を算出することとする。本研究で定義する道路区間の概念図を以下の図2に示す。

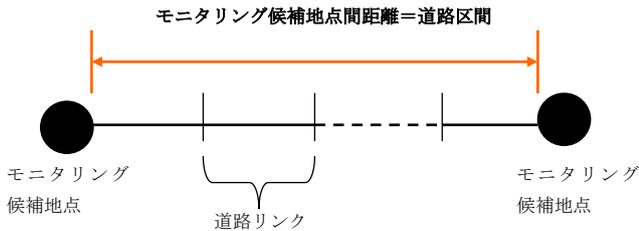


図2 道路区間の概念図

(2) 道路区間別道路閉塞確率 算出方法

道路閉塞確率 $P(0 \leq P \leq 1)$ とは、当該道路が自動車によって通行できるかどうかを表すものである。平常通りに通行可能であり道路閉塞しない場合に $P=0$ 、全く通行ができず完全に閉塞する場合に $P=1$ と表す。道路区間別道路閉塞確率を算出するために、本郷ら²⁾が行った分析結果を用いる。本郷らは、ポアソン分布を用いて各リンクの道路通行可能確率を算出している。1つの道路区間は、いくつかの道路リンクによって構成されている(図2参照)。このため、各々の道路リンクの通行可能確率を掛け合わせて、当該道路区間の道路通行可能確率を算出する。次に、全体の確率1から当該道路区間の通行可能確率を引いて道路区間別道路閉塞確率 $= 1 - \text{道路区間別通行可能確率}$ を算出することとする。算出結果は図3に示す通りである。

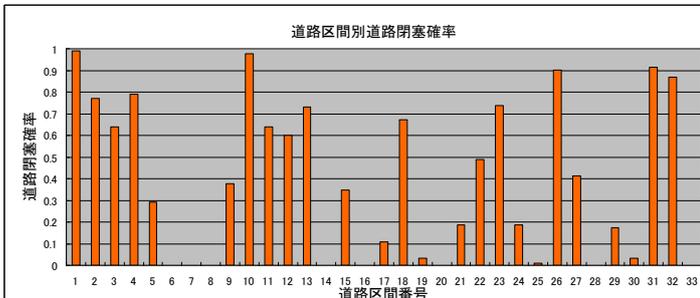


図3 道路区間別道路閉塞確率

5. 情報価値を用いたモニタリング地点選定の検討

(1) モニタリングシステムから得られる「情報」

本研究における「情報」は、道路上に監視カメラを設置すると仮定したとき、各々の監視カメラが受け持つ道

路の通行性、あるいは閉塞性に関する判断を下し、ある主体が行動を起こすために必要な材料、または、当該道路の通行可否を判断する際の知識の不確かさを減少させるものと定義する。

(2) 情報価値

本研究では、モニタリングによって得られる防災情報に着目し、ある情報を提供した際に、受け手が得る「情報の価値」を定量的に算出する。それに基づき、情報価値の高い道路区間からモニタリングカメラを優先的に設置していくものとする。

情報の価値を情報量 I で表し、「 A という事象が起こったことを知らせる情報量」を $I(M_A)$ 、「 A という事象の起こる確率」を P_A で表すこととする。ここで、 c を任意の正の定数(通常 $c=1$ とすることが多い)とすると、

$$I(M_A) = -c \log P_A \cdots (1)$$

と表せる。ここで、各道路区間の1-道路閉塞確率を(1)式の P_A と考えて、各々のカメラが持つ情報の価値を算出することとする。この(1)式に示される概念は、「情報の価値は、当該事象の生起確率が高いか否かだけで決まる。すなわち、起きにくい事象が起きるほど、それを知ったときの情報量(驚き)は大きい」とするものである。それにより、情報という本来定性的なものを、定量的に取り扱うことができると考えられる。

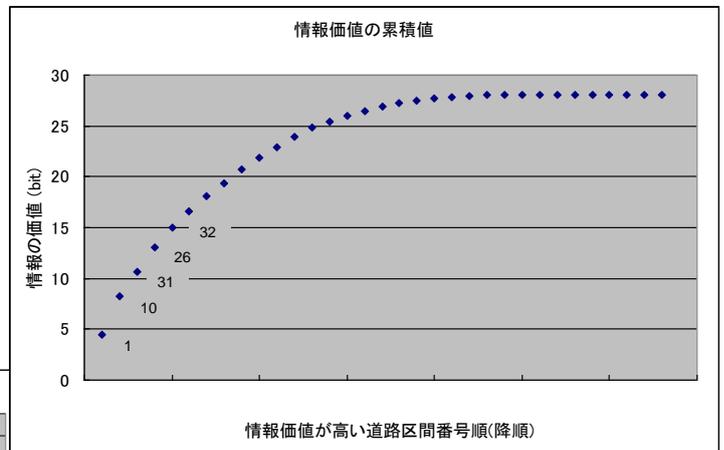


図4 情報価値の累積値 算出結果

図4には、情報価値の高い道路区間からモニタリングカメラを設置するという視点に立ち、横軸に情報価値の高い順に各道路区間をとり、縦軸に情報価値の累積値を示した。

(1)式からわかるように、道路区間の道路閉塞確率に基づいて情報価値を算出しているの、「道路閉塞確率が高い=情報の価値、モニタリングを行う価値が高い」ということになる。すなわち、災害時において、道路状況を迅速かつ的確に把握し、その情報を活用するためには、道路閉塞確率が高い道路区間ほど、情報価値(情報量)が

高いため、優先的にモニタリングすべきであるということとなる。図4を見ると、閉塞確率の高い区間をモニタリングすると情報価値は大きく増加するが、閉塞確率が小さい区間の場合には情報価値の増加が小さいことが確認できる。このため、表1に示すように、重要道路区間全てをモニタリングしなくとも、一定のモニタリングの効果が得られることがわかる。当該地区の場合には、全体の15%程度の設置(情報価値の高い道路番号順)を行うだけで、全体の53%程度の情報量を得られ、また全体の75%程度の設置を行うことができれば、道路上の全情報量を得られていることがわかる。ただし、表1は対象地域での事例であり、全く閉塞の恐れがない道路区間がかなり存在するため、一般論としての情報量累積率ではないことに注意する必要がある。

表1 情報量累積率

カメラ設置割合	情報量累積率(%)
未設置(0/33)	0%
5ヶ所(5/33=15.15%)	53.65%
10ヶ所(10/33=30.30%)	77.86%
17ヶ所(17/33=51.52%)	95.93%
25ヶ所(25/33=75.76%)	100%

6. 平均情報量 H (エントロピー)を用いたモニタリング地点選定の検討

(1) あいまいさの捉えかた

前章では、閉塞確率が高い区間からモニタリングを優先的に行う方向を示した。しかしながら一方で、例えば道路閉塞確率=0.9のような予め通行できない可能性がかなり高い、あるいはほぼ通行できないとわかっている道路区間の場合、当該道路をモニタリングし、情報提供を行う際の価値が果たしてどの程度あるのかという疑問も出てくる。つまり、道路が閉塞するかあるいは、通行可能かどうか判断しかねるとき、すなわち $P_A = P_B = 0.5$ 付近に情報の価値は最も高いのではないかと考えられる。そこで、ある主体に情報提供を行う際、どのような状態のときに、最もその情報のあいまいさを解消することができるかを検討するために、情報の不確かさの平均値、すなわち平均情報量=エントロピー H を用いて検討する。エントロピーは、「無秩序な状態の度合い」を数値で表すものであり、無秩序な状態ほど値が大きく、整然として秩序の保たれている状態ほど値が小さい。本研究では、情報価値と平均情報量を比較することで、より効果的なカメラ設置候補地点の選定について検討してみたい。

(2) 平均情報量(エントロピー) H の考え方

n 個の事象がそれぞれ確率 p_1, p_2, \dots, p_n ($p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$) で発生するものとするとき、エントロピーは

$$H(p_1, p_2, \dots, p_n) = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i$$

と定義される。平均情報量(エントロピー)とは、情報量の期待値(=情報の不確かさの平均値)のことである。

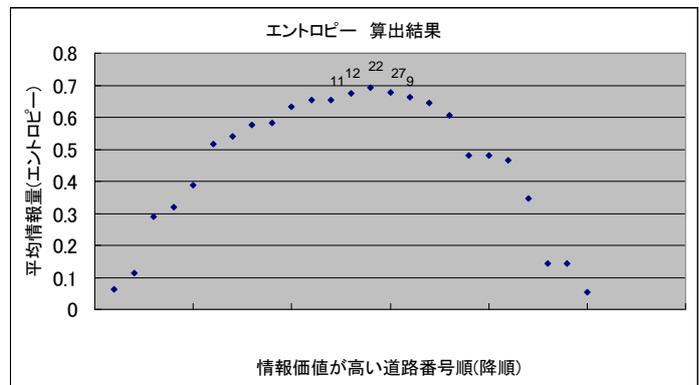


図5 平均情報量(エントロピー) 算出結果

図5に示すように、グラフは凸型の曲線となり、道路区間番号22において、道路通行可能確率 $P_A = 0.51$ のとき、最大エントロピー $H = 0.69$ となる。また、道路通行可能確率 $P_A = 0.51$ (道路通行確率の中央値) から離れていくほどエントロピーは小さくなる。

(3) まとめ

前章で述べた情報価値にもとづいて判断すると、通行可能確率が小さい区間を優先的にモニタリングする方向が示され、本章で述べたエントロピーに基づくとき、0.5程度の通行可能確率の場合が優先されることになる。

重要な路線の場合、脆弱な区間が通行可であれば、これは重要な情報となるから情報価値を優先して地点選定し、中程度の重要さを有する路線の場合には、エントロピーを優先して地点選定すればよいのではないかと思われる。

7. モニタリング地点の選定

(1) 道路区間の区分

平常時にも緊急災害時にも、実際の道路状況を把握できるシステムとして道路モニタリングシステムは効果的であると言える。しかし、モニタリングを行うためにすべての候補地点にカメラを設置するとなれば、多くの投資が必要となる。そのため、カメラの設置点の優先度を考え、カメラの効率的設置の検討が必要である。

そこで、優先的なモニタリング地点を選定するにあたり、候補地点を図6のようにクラスターに区分した。図6は縦軸に通行可能性(通行可能確率)、横軸に重要性(最短経路使用回数)をとり、原点は各々の指標の平均値としたものである。クラスター別に見た道路区間の特徴を以下に述べる。

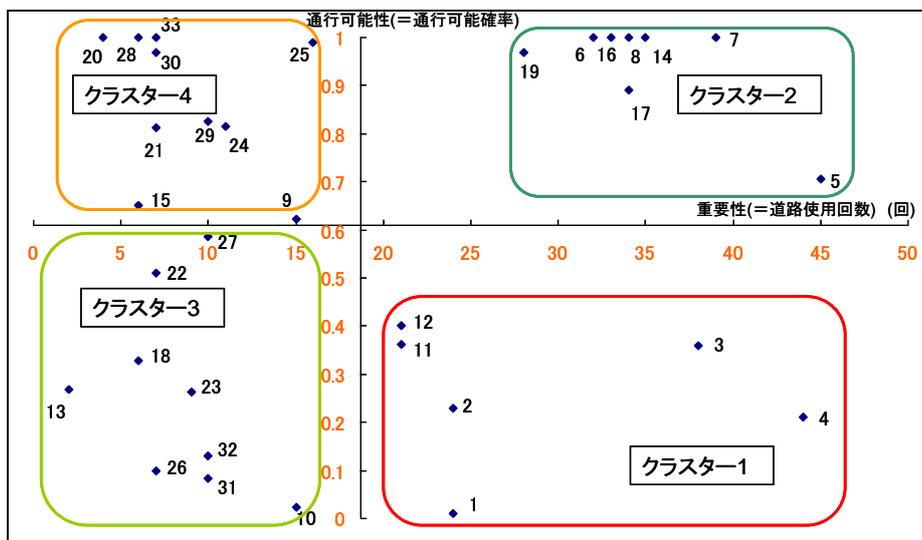


図6 文化遺産防災における重要性・脆弱性道路区間の分類

クラスター1・・・重要性、脆弱性共に高い道路区間
 ⇒文化遺産防災において特に優先的にモニタリング対象とすべき道路区間であると言える。

道路区間番号 1, 2, 3, 4, 11, 12

クラスター2・・・重要性が高く、脆弱性が低い道路区間

道路区間番号 5, 6, 7, 8, 14, 16, 19

クラスター3・・・重要性が低く、脆弱性が高い道路区間

道路区間番号 10, 13, 18, 22, 23, 26, 27, 31, 32

クラスター4・・・重要性、脆弱性共に低く、文化遺産防災において優先的にモニタリング対象としなくても良い道路区間であると言える。

道路区間番号 9, 15, 20, 21, 24, 25, 28, 29, 30, 33

上記のクラスター別の特徴をまとめると、クラスター1は文化遺産防災を考える際、最も重点的に監視すべき道路区間であると言える。

次に、重要性が高い路線の場合、その区間に存在する脆弱な道路区間が通行可能であるという情報を得ることができれば、その情報は重要なものとなる。従って情報価値を優先して地点選定すべきであると言える。よって、クラスター2よりもクラスター1の方がモニタリング対象として重要であると考えられる。

一方、中程度の重要さを有する路線の場合、つまり0.5程度の道路閉塞確率（通行可能確率）の場合、エンタロピーを優先して地点選定すべきであると言える。よって、クラスター3とクラスター4の場合には、両者の境界あたりがモニタリングに適していると考えられる。

クラスター4については、文化遺産防災において重要性も脆弱性も低いため、費用対効果などを検討し、モニ

タリングする必要は小さいと考える。これらを総合的にまとめて、文化遺産防災における情報価値を用いたモニタリング地点の優先性は、

クラスター1>クラスター3>クラスター2>クラスター4の順で設置することを提案する。

8. おわりに

本研究では、地震などの自然災害が発生した場合に、重要リンクの被害状況をリアルタイムで把握するシステムと

して、カメラを用いた道路モニタリングシステムの構築を目指すことを目的とした。建造物や街路樹の有無による見通し距離を考慮に入れた即地的なカメラの設置候補地点を検討するために、より現実的な地理的情報を把握できる3次元CGシステムを用いて、カメラの設置候補地点の提案を行った。そして道路区間別における道路閉塞確率を算出した。さらに、モニタリングにより得られた防災情報に着目し、ある情報を提供した際に受け手が得る「情報価値」を定量的に算出した。

本研究における課題として、モニタリングにより得られた情報を如何にネットワーク化するかが挙げられる。このシステムは、自然災害発生時においても、カメラ等の設備の被災や他のトラフィック集中の影響を受けることなく活用できるようにしなければならない。今後はワイヤレスを中心とした災害に強い防災情報ネットワークの構築について検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 林雄一, 塚口博司, 小川圭一, 中村真幸: 文化遺産の防災性向上のための道路モニタリングシステムに関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.34, CD-ROM, No.70, 2006
- 2) 本郷伸和: 道路ネットワーク特性からみた歴史都市防災に関する研究, 立命館大学大学院修士論文, 2005