

## モニタリングの使用目的に応じたカバー率評価関数の検討

### Investigation of Performance Function for Monitoring Coverage Ratio According to Purposes

坂元 勇介<sup>1</sup>勝間 亮<sup>1</sup>

Yusuke Sakamoto

Ryo Katsuma

#### 概要

近年,WSN(Wireless Sensor Networks)や巡回ロボットによる移動式モニタリングシステムの研究が盛んに行われている。移動式のカメラを用いてモニタリングを行う場合、カメラの動きをスケジューリングする必要がある。また、スケジューリングの後、そのスケジュールがモニタリングの実施者にとって最適なものであるかどうかを評価することも必要である。しかし、最適なスケジュールは使用者が監視したい場所やどの程度監視したいかによって決まるため、画一的に考えることができない。さらに、一つの評価関数だけでは別の用途に転用しやすいかどうかを評価することも難しい。本稿では、モニタリングを行う際にその実施者が求める条件に応じたモニタリングスケジュールの評価関数を検討する。本稿で検討した5種類の評価関数をシミュレーション実験で適用することにより、実施者の目的に応じたとともに、目的以外の用途に転用する場合の評価も簡易的にできるようになった。

#### 1. はじめに

近年、モニタリングシステムは一般に広く知られており、その使用用途は多岐にわたっている。従来では、モニタリングを行う際にはモニタリングの使用者が監視したい場所全てに固定カメラを設置することが想定されてきた。しかし、固定式の監視カメラは一度設置すると、その後、環境の変化(植物の生育など)や監視したい場所が変わった時に移動することが容易でないという問題があるため、移動式カメラを導入する研究が増えてきている[1][2]。また、ロボットによる巡回の研究などでも移動式モニタリングが注目されてきている[3][4][5]。

例えば、移動式カメラによるモニタリングシステムの使用例として害獣検知がある[6]。害獣検知とは害獣対策の1つであり、農作物を荒らすシカ、イノシシ、サルなどの野生獣をモニタリングシステムを用いて監視し、検知することである[7]。山中を移動する害獣はやみくもに移動するのではなく、ある決まったルートを通過して移動することが多い。この野生の動物がよく使う道を獣道と呼ぶ。獣道では足元の下草は食われて短くなっていたり、低木の小枝は折られたりしているため肉眼で発見しやすい。

害獣検知ではそのような獣道などの害獣が現れやすい場所を監視対象とする。つまり、害獣検知の場合、害獣がよく通る獣道を重点的に監視することが必要であり、そのようなモニタリングスケジュールの評価を高くする必要もある。さらに、監視したい領域に存在する動物の種類や数などを同時に調査したいときは、過剰に獣道を監視するよりは、同じカメラの数でできるだけ広範囲をモニタリングすることが求められる。

このように、モニタリングの目的や使用用途は実施者や状況によって様々であり、カメラの配置や移動をスケジュールする際に単一の評価方法を用いるだけでは他の用途に転用することは難しい場合がある。

そこで、本稿では以下の5つの評価関数を検討する。

##### 1. カバー率平均評価関数

各監視点におけるカバー率の平均を取る評価関数であり、カバー率の偏りを考慮しなくても良い場合を想定した評価関数である。カバー率の偏りは評価できないが、監視点を監視することのできた時間のみで評価したい場合、有効である。例えば、害獣検知などにおいて十分な数のカメラを用意することができ、カバー率の偏りがあまり起こらない場合に用いることができる。

##### 2. ノルマ達成点評価関数

確保したい最低限のカバー率(ノルマという)を達成した監視点のみを対象とし、それ以外は一切カウントしないように評価する評価関数であり、最低限モニタリングしてほしいカバー率がある場合を想定した評価関数である。カバー率平均評価関数と合わせることで、ノルマをこえている監視点の割合を比較することができる。例えば、ペットの様子を監視カメラを用いてモニタリングする時、ペットがよくいる場所に対し、最低限監視してほしいカバー率がある場合などに有効である。

##### 3. 偏差評価関数

カバー率の偏りを減らしたい場合を想定した評価関数である。具体例として、農作物のモニタリングが想定される。これは、農作物の成長具合や病気による葉の色の変化を観察するためにモニタリングするものであるが、この場合、全体をまんべんなく監視す

<sup>1</sup> 大阪府立大学, Osaka Prefecture University, Sakai, Osaka  
599-8531, Japan

ることが求められることが多い。そのような条件の時、全体を偏りなく監視しているようなモニタリングスケジュールを高く評価する必要があるため、この評価関数が有効である。

#### 4. 未カバー減少率評価関数

ノルマの高い監視点のカバー率を上げると高く評価される評価関数であり、特定の監視点を重点的に監視したい場合を想定した評価関数である。上記で述べたように、害獣検知で獣道を重点的にモニタリングしたい場合に有効である。

#### 5. ノルマ未達成点評価関数

ノルマを達成していない監視点がどれだけノルマに近づいているかを評価する評価関数であり、ノルマを達成していない点をできる限りカバーしたい場合を想定した評価関数である。この評価関数はすべての監視点がノルマを達成してほしい場合に有効であり、全体をまんべんなく監視したい場合、重点的に監視したい範囲がある場合どちらにも応用できる。例えば、防犯目的のモニタリングでは、できるだけ監視できていない場所をなくしたい場合が多く、また、重点的に監視したい場所がある場合も多い。この評価関数は全体をまんべんなく監視したい場合、重点的に監視したい場所がある場合のどちらにも応用できるため、状況に応じて使い方を定めることができるためそのような場合に有効である。

これらの評価関数は入力としてモニタリングスケジュールを与えると、そのスケジュールの評価値を返す関数である。2～5の評価関数は、モニタリング実施者が監視してほしい場所ごとに達成してほしいカバー率をノルマとして設定し、それを評価の基準とする。

## 2. 諸定義

本稿のねらいは、あるモニタリングスケジュールに対し、妥当な評価を返す評価関数を検討することである。本章では、評価関数を考える上で想定する環境、条件について述べる。

### 2.1 監視領域

監視したい場所が点として定まっているものとする。つまり、監視領域は点として与えられる。以下、監視領域を監視点という名称で呼ぶ。監視点の集合を  $U = \{u_0, u_1, \dots, u_n\}$  で定義する。

### 2.2 監視方法

監視点を監視する方法として全方位カメラを用意する。全方位カメラの集合を  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_n\}$  と定義する。このカメラの撮影可能距離は半径  $r$  であるとする。

### 2.3 カメラの位置情報

ある時間  $t$  におけるカメラ  $S$  の位置情報を得ることのできる関数を  $S.pos(t)$  と定義する。

### 2.4 距離関数

距離関数  $d(x_1, x_2)$  を定義する。この関数は、引数として位置情報  $x_1, x_2$  を取り、戻り値として2点間の距離を返す関数である。

### 2.5 監視点 $u$ のカバー関数

ある時刻  $t$  において、監視点  $u$  が少なくとも1台以上のカメラにモニタリングされているかどうかを評価するカバー関数  $cover(s, u, r, t)$  を定義する。この関数は監視点  $u$  がいずれかのカメラ  $s$  の監視範囲  $r$  に存在するときは1、そうでないときは0を返す関数である。

$$cover(s, u, r, t) = \begin{cases} 1 & \exists s \in S \text{ s.t. } d(s.pos(t), u) < r \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

### 2.6 監視点 $u$ のカバー率

監視点  $u$  のカバー率とは、監視点  $u$  がモニタリング実施時間中、どれだけの時間監視されていたかを割合で表したものである。モニタリング実施時間を  $T$  とすると、監視点  $u$  のカバー率  $C_u$  は以下の式で表すことができる。

$$C_u = \frac{1}{T} \int_0^T cover(s, u, r, t) dt \quad (2)$$

### 2.7 カバー率のノルマ

モニタリングの実施者に達成してほしいカバー率  $\alpha$  を設定してもらう。ノルマ  $\alpha$  は各監視点  $u$  ごとに設定可能であり、 $\alpha = \{\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n\}$  と表される。

## 3. 評価関数の検討

評価関数を  $H$  と設定する。評価関数  $H$  に入力  $M$  を与えた時、その返り値をそのスケジュールの評価値  $H_{result}$  とする。

$$H_{result} = H(M) \quad (3)$$

### 3.1 カバー率平均評価関数

この評価関数は、各監視点のカバー率の平均を評価値  $H_{result}$  として返す。

$$H_{result} = \frac{\sum_{i=0}^n C_{ui}}{n} \quad (4)$$

この評価関数はカバー率の偏りを考慮しなくても良い場合、もしくは、カバー率の偏りが発生しない場合に効果的に使用できる。例えば、図1のように、1台の移動式監視カメラがの監視点1～6に対して、監視点1と6の間を行き来するようなモニタリングスケジュール(カメラ移動速度1[m/s]、撮影可能距離8[m]、監視点間距離5[m])を想定すると、各監視点のカバー率は表1のようになり、評価値は  $H_{result} = 0.49$  となる。



図 1: 監視点とカメラの移動経路

表 1: 各監視点のカバー率

監視点 1	0.32
監視点 2	0.52
監視点 3	0.64
監視点 4	0.64
監視点 5	0.52
監視点 6	0.32

### 3.2 ノルマ達成点評価関数

この評価関数は、監視点のカバー率がノルマ  $\alpha$  を超えている監視点のみを評価する評価関数である。新たなカバー率を  $C'_u$  とすると、

$$C'_u = \begin{cases} C_u & (C_u \geq \alpha_u) \\ 0 & (C_u < \alpha_u) \end{cases} \quad (5)$$

と表される。評価値は、

$$H_{result} = \frac{\sum_{i=0}^n C'_{ui}}{n} \quad (6)$$

となる。例えば、図 1 の例において、各監視点のノルマを  $\alpha = 0.5$  とすると、監視点 1 と 6 はカバー率がノルマを達成できていないため評価されず監視点 2~5 のみ評価される。評価値は  $H_{result} = 0.39$  となる。

### 3.3 偏差評価関数

この評価関数は、ノルマ  $\alpha$  と監視点のカバー率の偏差を求めることにより、スケジュールを評価する評価関数である。

$$H_{result} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (C_{ui} - \alpha_i)^2}{n}} \quad (7)$$

となる。この評価値は、値が小さければ小さいほどノルマからの差が小さく、ノルマ  $\alpha$  が一定の場合においては、カバー率のばらつきが少ないといえる。例えば、図 1 の例において、各監視点のノルマを  $\alpha = 0.5$  とすると、評価値は  $H_{result} = 0.13$  となる。監視点 1,6 のノルマを  $\alpha = 0.3$ 、監視点 2,5 のノルマを  $\alpha = 0.5$ 、監視点 3,4 のノルマを  $\alpha = 0.6$  とすると、 $H_{result} = 0.029$  となる。

### 3.4 未カバー減少率評価関数

この評価関数は、ノルマ  $\alpha$  を達成しているカバー率がノルマでない未カバー率をどれだけ減らしたかを評価す



図 2: 監視点とカメラの移動経路

る。新たなカバー率を  $C''_u$  とすると、

$$C''_u = \begin{cases} \frac{C_u - \alpha_u}{1 - \alpha_u} & (C_u \geq \alpha_u) \\ 0 & (C_u < \alpha_u) \end{cases} \quad (8)$$

と表される。評価値は、

$$H_{result} = \frac{\sum_{i=0}^n C''_{ui}}{n} \quad (9)$$

となる。この評価関数では、特定の監視点を重点的に監視したい場合有効である。ノルマの低い監視点のノルマを超えて監視するよりも、ノルマの高い監視点のノルマを超えてモニタリングした場合の方が評価値が高くなる。例えば、図 1 の例において、監視点 1,6 のノルマを  $\alpha = 0.3$ 、監視点 2,5 のノルマを  $\alpha = 0.5$ 、監視点 3,4 のノルマを  $\alpha = 0.6$  とすると、 $H_{result} = 0.057$  となる。一方、図 2 のように、ノルマの高い監視点 3,4 を重点的に監視するスケジュールを想定すると、評価値は  $H_{result} = 0.60$  となる。

### 3.5 ノルマ未達成点評価関数

この評価関数は、ノルマ  $\alpha$  を達成していないカバー率がどの程度ノルマに近いかを評価する。この評価関数では、ノルマを超えてモニタリングしていた場合でも、ノルマをちょうど達成したカバー率と同評価とする。条件を考慮した新たなカバー率を  $C'''_u$  とすると、

$$C'''_u = \begin{cases} \alpha_u & (C_u \geq \alpha_u) \\ C_u & (C_u < \alpha_u) \end{cases} \quad (10)$$

と表される。評価値は、

$$H_{result} = \frac{\sum_{i=0}^n \alpha_i - C'''_{ui}}{n} \quad (11)$$

となる。この評価関数は、ノルマを達成していないカバー率がよりノルマに近づいているものを高く評価したい場合に有効である。例えば、図 2 の例において監視点 1,6 のノルマを  $\alpha = 0.3$ 、監視点 2,5 のノルマを  $\alpha = 0.5$ 、監視点 3,4 のノルマを  $\alpha = 0.6$  とすると、 $H_{result} = 0.10$  となり。図 1 の例では、 $H_{result} = 0$  となる。

## 4. シミュレーション実験

ある目的のためにスケジュールされたカメラ動作において、3章で述べた評価関数で幅広い評価が行えることを示すため、シミュレーション実験を行なった。二次元のフィールドを用意し、そこに監視点を設定しマップを構

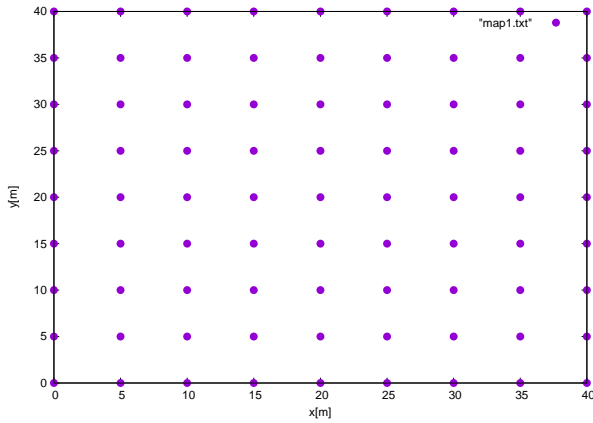


図 3: マップ 1:規則正しく設置した監視点

築する。そのマップに対して、移動式カメラの移動経路を設定し、本稿で提案した評価関数を用いて評価する。本実験では、5つの評価関数それぞれの特性を示すために、複数の経路について各評価関数を適用し、比較した。

#### 4.1 シミュレーション設定

実験では、 $40[m] \times 40[m]$  のフィールドで害獣検知を行うことを想定し、81個の監視点を2通りの方法で配置したマップ1,2を用意した。マップ1では規則正しく配置し、隣の監視点との距離は $5[m]$ である。マップ2では獣道などの重点的に監視したい領域を想定し、ある範囲では監視点を密に配置し、ある範囲では疎になるように配置した。密な範囲の監視点は約 $2[m]$ 間隔で並んでおり、疎の範囲では約 $5[m]$ 間隔で並んでいる。マップ1,2で配置した監視点をそれぞれ図3,図4に示す。マップ1の監視点のカバー率のノルマはすべて $\alpha = 0.3$ とし、マップ1の監視点のカバー率のノルマは、監視点が密な範囲は $\alpha = 0.4$ 、監視点が疎な範囲は $\alpha = 0.2$ とした。監視点を監視するための移動式監視カメラは4台を想定し、移動速度は $1[m/s]$ 、撮影可能距離は $8[m]$ とした。カメラの経路は監視点全体を万遍なくモニタリングするような経路と監視点が密になっている範囲を重点的に監視するような経路をマップ1,マップ2にそれぞれ設定した。設定した経路を図5,図6,図7,図8に示す。それぞれに対し、カバー率平均評価関数、ノルマ達成点評価関数、偏差評価関数、未カバー減少率評価関数、ノルマ未達成点評価関数を用いて評価値を求める。

#### 4.2 実験結果

マップ1のように監視点が規則正しく設置された環境で、マップ全体を図5のように監視カメラが移動したときの評価値を表2に、図6のように重点的に監視した時の評価値を表3に示す。同様に、マップ2のように監視点が獣道等を想定し設置された環境で、マップ全体を図

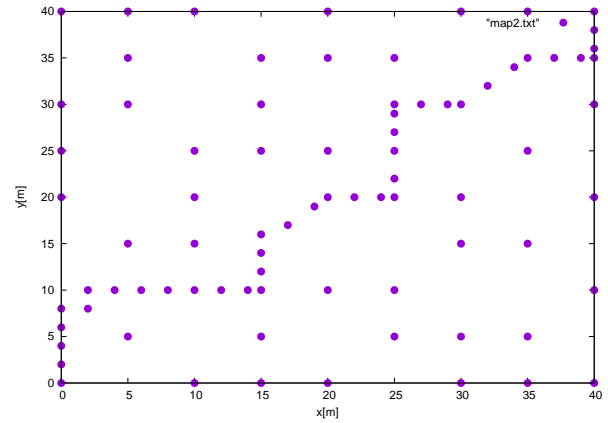


図 4: マップ 2:獣道等を想定し設置した監視点

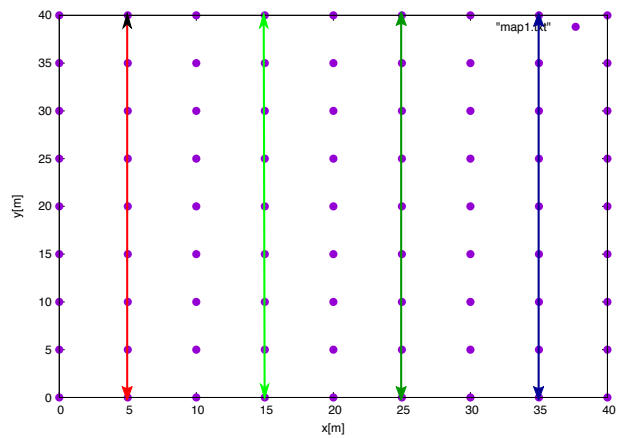


図 5: マップ 1 全体を万遍なく監視

7のように監視カメラが移動したときの評価値を表4に、図8のように監視点が密になっている範囲を重点的に監視した時の評価値を表5に示す。

##### 4.2.1 表2,表3の比較

表2,表3のカバー率平均評価関数の評価値を見比べると、 $0.3260 < 0.4274$  で重点的に監視した時の方が評価値が高くなっているのがわかる。これは、マップ1全体を万遍なく監視した時よりも重点的に監視した時の方が監視

表 2: マップ 1 全体を万遍なく監視した時の評価値

カバー率平均評価関数	0.3260
ノルマ達成点評価関数	0.2626
偏差評価関数	0.1072
未カバー減少率評価関数	0.1046
ノルマ未達成点評価関数	0.0255

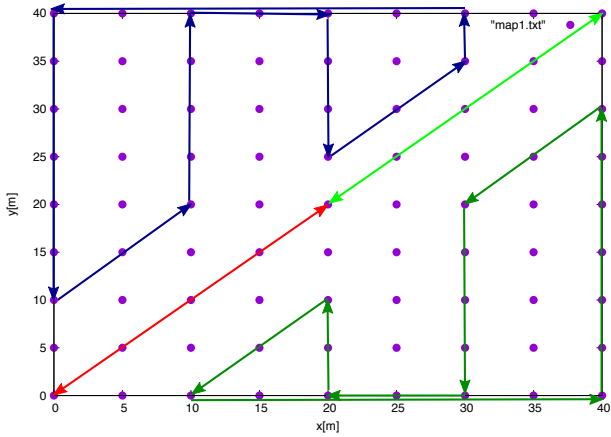


図 6: マップ 1 を重点的に監視

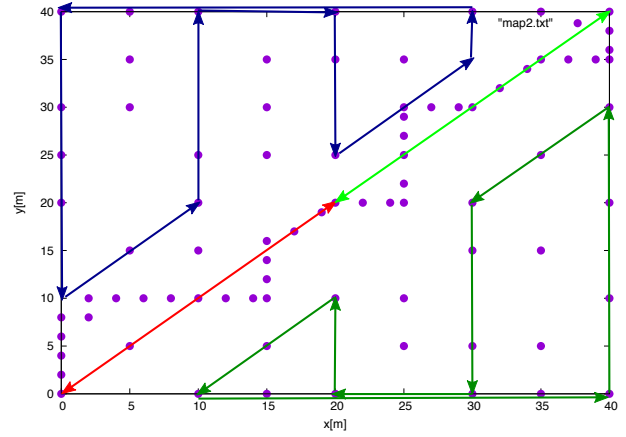


図 8: マップ 2 の密な範囲を重点的に監視

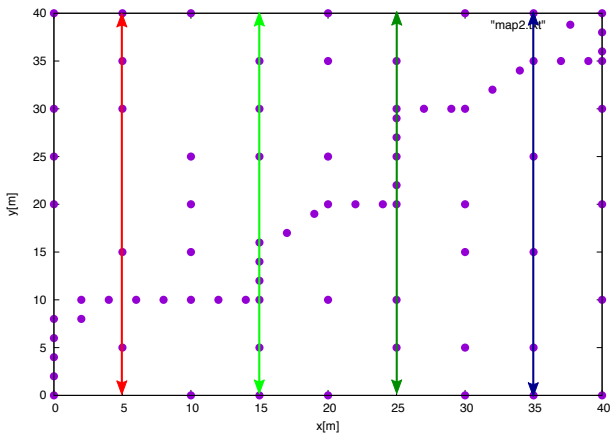


図 7: マップ 2 全体を万遍なく監視

点を監視できていた時間が長かったことを表している。  
 ノルマ達成点評価関数の評価値は  $0.2626 < 0.3455$  で重点的に監視した時の方が評価値が高くなっているのがわかる。これは、重点的に監視した時の方がノルマをこえた監視点が多いか、ノルマをこえた監視点のカバー率が良いことを示している。また、 $(\text{ノルマ達成点評価関数}) \div (\text{カバー率平均評価関数}) \times 100$  から割合を計算すると、万遍なく監視した時のスケジュールでは約 81% であり、重点的に監視した時のスケジュールでも約 81% であることから、ノルマをこえている監視点の数はあまり変わらず、重点的に監視した時の方がカバー率が良いと推

表 3: マップ 1 を重点的に監視した時の評価値

カバー率平均評価関数	0.4274
ノルマ達成点評価関数	0.3455
偏差評価関数	0.2517
未カバー減少率評価関数	0.3397
ノルマ未達成点評価関数	0.0367

表 4: マップ 2 全体を万遍なく監視した時の評価値

カバー率平均評価関数	0.3336
ノルマ達成点評価関数	0.2860
偏差評価関数	0.1046
未カバー減少率評価関数	0.1052
ノルマ未達成点評価関数	0.0228

測される。

偏差評価関数の評価値を見ると  $0.1072 < 0.2517$  であり、万遍なく監視した時の方がカバー率の偏りが少ないことを示している。

未カバー減少率評価関数の評価値は  $0.1046 < 0.3397$  で重点的に監視した時の方が評価値が高く、これは、重点的に監視した時の方がノルマが高い監視点をノルマをこえてカバーしていることを示している。

ノルマ未達成点評価関数の評価値は  $0.0255 < 0.0367$  であり重点的に監視した時の方がノルマ未達成点が少ないか、ノルマ未達成でもノルマに近い監視点が多いことを示している。

#### 4.2.2 表 4, 表 5 の比較

表 4, 表 5 のカバー率平均評価関数の評価値を見比べると  $0.3336 < 0.5057$  で重点的に監視した時の方が評価値

表 5: マップ 2 の密な範囲を重点的に監視した時の評価値

カバー率平均評価関数	0.5057
ノルマ達成点評価関数	0.4829
偏差評価関数	0.2577
未カバー減少率評価関数	0.3489
ノルマ未達成点評価関数	0.0049

が高くなっているのがわかる。これは、先ほどと同様に、マップ2全体を万遍なく監視した時よりも重点的に監視した時の方が監視点を監視できていた時間が長かったことを表している。

ノルマ達成点評価関数の評価値は  $0.2860 < 0.4829$  で重点的に監視した時の方が評価値が高くなっているのがわかる。これは、重点的に監視した時の方がノルマをこえた監視点が多いか、ノルマをこえている監視点のカバー率が良いことを示している。また、 $(\text{ノルマ達成点評価関数}) \div (\text{カバー率平均評価関数}) \times 100$  から割合を計算すると、万遍なく監視した時のスケジュールでは約86%であり、重点的に監視した時のスケジュールでは約95%であることから、重点的に監視した時の方が、ノルマ達成点が多いことがわかる。

偏差評価関数の評価値を見ると、 $0.1072 < 0.2577$  であり、万遍なく監視した時の方がカバー率の偏りが少ないことを示している。

未カバー減少率評価関数の評価値は、 $0.1052 < 0.3489$  で重点的に監視した時の方が評価値が高く、これは、重点的に監視した時の方が、ノルマが高い監視点をノルマをこえてカバーしていることを示している。

ノルマ未達成点評価関数の評価値は、 $0.0228 > 0.0049$  であり万遍なく監視した時の方が、ノルマ未達成点が少ないかノルマ未達成でもノルマに近い監視点が多いことを示している。

### 4.3 実験結果の評価

今回想定した2つのマップ、スケジュールに対して、5つの評価関数が与える評価値を比較することにより、今回提案した5つの評価関数が妥当な評価をすることが示された。特に、偏差評価関数と未カバー減少率評価関数はカバー率のばらつきの少ないスケジュールを高く評価する評価関数とノルマの高い監視点をよりカバーできているスケジュールを高く評価する評価関数であり、今回想定したマップ1、マップ2とそのスケジュールの目的にマッチしている。実際にマップ1を万遍なく監視した時は偏差評価関数に、マップ2の密な範囲を重点的に監視した時は未カバー減少率評価関数に高く評価された。

## 5. まとめ

本稿では、モニタリングの使用目的に応じた評価関数として、5つの評価関数を検討した。2パターンのマップと移動式監視カメラのモニタリングスケジュール環境を想定し、シミュレーションを行った。シミュレーションの結果として、それぞれ5つの評価値を得ることができ、その評価値を比較することにより、目的以外の用途に対しても簡易的に評価できることが確認できた。

## 参考文献

- [1] 紅山 史子, 守屋 俊夫, 松本 高斉, 若原 彰伸: “自律移動型カメラロボットの開発”, *Proc. of 情報処理学会 第 68 回全国大会*, pp. 319–320, 2006.
- [2] Maria Valera Espina, Raphael Grech, Deon De Jager, Paolo Remagnino, Luca Iocchi, Luca Marchetti, Daniele Nardi, Dorothy Monekosso, Mircea Nicolescu, Christopher King: “Multi-robot Teams for Environmental Monitoring”, *P. Remagnino et al. (Eds.): Innovations in Defence Support Systems-3*, pp. 183–209, 2011.
- [3] Mbaïtiga Zacharie: “Intelligent OkiKoSenPBX1 Security Patrol Robot via Network and Map-Based Route Planning”, *Journal of Computer Science 5 (1)*, pp. 79–85, 2009 .
- [4] 入江 寿弘, 浅見 明, 新宮 清志, 日本大学, 浅見精機製作所: “自律移動型警備ロボットの基礎研究”, *Proc. of 27th Fuzzy System Symposium*, pp. 1069–1070, 2011.
- [5] 竹下 勉, 大矢 晃久, 油田 信一: “移動ロボットを用いた屋内監視巡回システム”, *Proc. of 11th Symposium on Sensing via Image Information*, 2005.
- [6] 小倉 広大, 勝間 亮: “ロープウェイ式害獣検知システムにおけるロープの設置手法”, *Proc. of DI-COMO2017*, pp. 1444–1451, 2017.
- [7] 小川勇治: “ロボット監視カメラによる獣害被害防止の対策技術開発”, 第19回生物学技術研究会・第30回生理学技術研究会予稿集, pp.39