

AED の最適配置に関する研究

毛利 進太郎⁽¹⁾
石井 博 昭⁽²⁾

概 要

本論文では AED の最適配分と最適配置を同時に考慮した複合問題を考察する。AED は公共機関などでの突然の心停止状態に対して非医療従事者が安全に緊急処置を行えるように開発された携帯型の医療機器であり急速に普及している。AED による緊急処置は突然の心停止の発症から処置までを迅速に行うことが、その後の回復にとって重要であり、そのため AED の配置はいかなる場所にも短い距離で行けるように考慮する必要がある。そこで本論文では複数の建物に対して AED を適切に配分し、さらに適切な配置を行う問題を考える。これらの建物への適切な配分、建物内での適切な配置を決定するためのアルゴリズムを提案する。

1 はじめに

AED（自動体外式除細動器）は緊急の心停止の症状、心臓が心室細動を起こし心配停止状態になった場合に、心室細動と不整脈の状況を自動的に診断し、電気ショックによる除細動によって正常に戻す処置を行う携帯型の電子医療機器である。非医療従事者でも簡単に使用できるように音声や画像によって使い方が示され設計されており、日本では2004年に厚生労働省より、非医療従事者が AED を使用し緊急の医療処置を行うことは、医師法第17条には違反しないとの通知[1]がでたことで、一般の市民による AED の使用が認められた。そ

(1) 神戸学院大学経済学部

(2) 関西学院大学理工学部

AED の最適配置に関する研究

これを機に AED は急速に普及が進んでおり、多くの施設、ショッピングセンター、空港、飛行機、レストラン、ホテル、スポーツスタジアム、学校などにすでに設置されている。

本論文では AED の設置について、応急措置を迅速に行えるような設置方法について検討する。ここで検討する問題では複数の建物群と設置すべき複数台の AED を考え、AED の設置を建物の利用率に基づく AED の配分と個々の AED の設置位置を決めることを目的とする。設置位置についてはその建物のどのような場所において心停止の患者が発生しても迅速に対応できる、すなわち AED から最も遠い建物内の位置への距離が最小となるように設置する。

この問題の解はそれぞれの建物への AED の配分と設置位置の決定となる。ここで配分については人口に基づく議席配分問題と類似している。この問題については多くの研究がなされているが[2]、もっとも基本的な最大剰余法を基にしたアルゴリズムを提案する。設置場所の決定については直角距離における設置問題に類似している[3]。ただしこの問題はこれらの2つの要素を同時に考慮する必要があり、これらを組み合わせた新しい解法が必要である。そこで本論文では新しい近似アルゴリズムを提案する。まず建物の形状を単純なものに限定しその割り当てと配置を考える[4]。さらにそのアルゴリズムを拡張し複数の建物を取りまとめて割り当てと配置を考える問題を検討する。

2 AED 設置の現状

AED の設置は2007年以降急速に進んでおり、日本心臓財団によれば2014年の累計販売台数が50万台超となっているが[5]、AED の絶対数はまだまだ必要数には足りないといわれている。日本での AED の普及には一貫した政策や、計画性に乏しく、各自治体の独自の政策、または民間の自主的な活動によって進められている状況である。厚生労働省は AED の適正配置に関するガイドラインを公表しており[6]、日本心臓財団は2012年に AED の戦略的配置に関しての提言を行っている[7]。そこでは、設置が推奨される場所・施設として、

駅、空港、旅客機、学校、スポーツ施設、大規模な商業施設。集客施設、有効施設などを挙げており、さらに設置場所に関して心停止発生から5分以内にAEDによる除細動を可能にするには直線距離でおおよそ300m間隔の配置が望まれると分析している。さらに配置に当たって考慮すべきこととして、AEDの配置密度の検討、高層ビルではエレベータや階段へなどの近くへの配置、分かりやすい場所への配置、心停止のリスクがある場所（運動場や体育館など）への配置などを上げている。

Kitamuraらの調査では日本での公共でのAEDによる除細動は心停止から平均3分以内に行われており、40%の社会復帰率を示している。さらには除細動が1分遅れると社会復帰率が9%減少する。AEDの設置に関してはまだまだ不十分であり、さらに配置に当たっても検討すべき問題が多く見受けられる。しかしながらAEDを多数配置するためにはそれに応じたコストが必要である。そこで本研究では限られた数のAEDを大学や大規模商業施設などいくつかの建物で構成された領域にいかん適切に配置すべきかを検討する。

3 問題の定式化

この節ではAEDの配置問題の定義を行いその定式化を行う。問題の概略と記号を以下に示す。

- m 棟の建物を B_1, B_2, \dots, B_m としその集合を \mathbf{B} とする。
- 利用率 u_i を建物 B_i の利用者の数、時間などをもとにする利用率とする。ただし $\sum_{all B_i} u_i = 1$ とする。
- それぞれの建物にはAEDが少なくとも一つ設置されるものとし、設置されるAEDの総数は N とする。

3.1 建物と配置に関する仮定

- 建物 B_i に対し階数 n_{fi} を建物の階とし、それらは廊下と階段で構成されるとする。 d_{wi} を廊下の長さ、すなわち水平方向の距離とし、 d_{hi} を1つの

AED の最適配置に関する研究

階段の高さ、すなわち垂直方向の距離とする。実際の定式化においては実距離である必要はなく、何らかの仮想距離でよい。例えば垂直距離は水平距離に比べ移動が困難であるとし、垂直距離により大きい重み付けをするなどが考えられる。

- 階段の途中には AED を設置しないものとする。
- n_i を建物 B_i に設置する AED の数とする。また 1 つのフロアには AED は 1 台以上設置しないものとする。すなわちすなわち $1 \leq n_i < f_{B_i}$ である。
- 距離は直角距離で定義されるものとする。すなわち距離 d_i は水平距離 d_{w_i} と垂直距離 d_{h_i} の和 $d_i = d_{w_i} + d_{h_i}$ となる。

3.2 建物の構造

AED の設置においては建物の構造によって最適な設置場所が異なり、それを決定するアルゴリズムも異なる。本研究では以下に示すようなシンプルな構造の建物を扱うが、そのアルゴリズムを独立したものとして定義することによって他の構造への拡張の余地を残す。

- 建物は複数の階からなるものとする。
- それぞれの階は 1 つの廊下で結ばれた部屋で構成されているものとする。
- 各階は階段で結ばれ階段は廊下の同一の端に設置されるものとする。

3.3 目的関数

- 建物 B_i における距離 d_i^w を AED から建物内の任意の位置のうち距離が最大となる位置への距離とする。
- 目的関数 d^{worst} はすべての建物に対する最大距離とする。すなわち $d^{worst} = \max_{i=1, \dots, m} \{d_i^w\}$ である。
- 目的関数を最小とする AED の配分と設置位置がこの問題の解となる。

4 解法の提案

本節では前節では述べた問題の解を得るためのアルゴリズムを提案する。ここで提案するアルゴリズムは AED をそれぞれの建物に配分する数を決定するアルゴリズムと配分された AED をそれぞれの建物に設置する位置を決定するためのアルゴリズムと 2 つの部分からなる。初期の配分数決定のアルゴリズムは議席数配分問題における最大剰余法を基にしている。もう一方のアルゴリズムでは建物における配置を決定し、距離を計算しながら残りの AED の割り当てを決定していく。

アルゴリズム $\text{ALOC}(N, \mathbf{B})$ は AED の各建物に対する割り当て台数を決定する部分と設置位置を決定する部分に分かれる。入力として与えられるのは AED の総数と建物群である。解として出力されるものは AED の各建物への配分と建物内での設置場所である。アルゴリズム $\text{loc}(B_i, n_i)$ を各建物での AED の設置場所を決定するアルゴリズムであり建物の構造によって異なる。本研究ではシンプルな建物の形状を仮定した $\text{loc}_s(B_i, n_i)$ を提案する。出力は AED の設置場所とその評価、すなわち任意の場所への最大距離である。

アルゴリズム $\text{ALOC}(N, \mathbf{B})$

Step 1: 建物 B_i に対する AED の仮の割り当て数 n_i^m を次のように決定する。

$$n_i^m = N \times u_i, n_i^m = \lfloor n_i^m \rfloor, (n_i^m: n_i^m \text{ の小数部分を切り捨て})$$

Step 2: AED の初期割り当てを決定し以下のケースを考える。

Case 1: すべての建物に対し少なくとも一つは AED が割り当てられている。

すなわち n_i^m に対し $n_i^m \geq 1$ である。このとき各建物 B_i に対し n_i^m 台の AED を設置し、残りの台数 N' を $N' = N - \sum_{i=1}^m n_i^m$ とする。

Case 2: AED が 1 つも割り当てられていない建物が存在する。すなわち $\exists n_i^m \in \{n_i^m \mid n_i^m = 0, i = 1, 2, \dots, m\}$ である。このとき AED を 1 つすべての建物に割り当てる。最小利用率 u^{\min} を $u_i (i = 1, 2, \dots, m)$ の最小値とし、すべて

AED の最適配置に関する研究

の建物 B_i について利用率 u_i を $u_i - u^{min}$ と更新する。AED の台数 N を $N - m$ と更新する。AED の割り当て数を新しい利用率, AED の数をもとに次のように計算する。 $n'_i = N \times u_i$, $n_i^{int} = \lfloor n'_i \rfloor$ 。各建物 B_i に対し AED を n_i^{int} 台割り当てる。AED の残り台数は $N' = N - (m + \sum_{i=1}^n n_i^{int})$ となる。

Step 3: 残り N' 台の AED の割り当ての決定する。

アルゴリズム $\text{loc}(B_i, n_i)$ によって AED の設置位置と評価を決定し, 改善すべき建物集合 B' を出力する。

Case 1: もし B' の建物数 $|B'|$ が AED の残り台数 N' 以上である場合, 残りの AED を適切に割り当てる。AED の配分と割り当てを結果として出力し $\text{ALOC}(X, B)$ は終了する。

Case 2: もし B' の建物数 $|B|$ が AEDs の残り台数 N' 未満である場合, AED を B' の建物にそれぞれ 1 つずつ割り当て Step3 を繰り返す。

4.1 建物への配置位置の決定

ここで建物内の点 p_1, p_2 をそれぞれ異なる任意の階 $f_1, f_2 (f_1 \neq f_2)$ の任意の地点であるとする。点 p_1 と p_2 の最大距離は $|f_1 - f_2| d_{h_i} + 2d_{w_i}$ である。もし点 p_2 が階段に面した位置しているならば, 点 p_1 との最大距離は $|f_1 + f_2| d_{h_i} + d_{w_i}$ となる。よって AED が階段に面した位置に設置されるのが最適であり, 設置場所の決定はどの階に設置すべきか決定することになる。ここで以下のケースを考える。

$n_i = 1$ の場合, すなわち AED が 1 台のみ割り当てられている場合, AED は $\lfloor f_{B_i}/2 \rfloor$ 階に設置される。(もし n_{f_i} が奇数ならば $\lfloor f_{B_i}/2 \rfloor + 1$)

$n_i > 1$ の場合 q_i, r_i をそれぞれ n_{f_i} を n_i で割ったときの商とする。すなわち $f_{B_i} \div n_i = q_i \cdots r_i$ である。

建物 B_i を n_i ブロックに分ける。 n_i ブロックは r_i 個の $q_i + 1$ 階からなる $B_i^{q_i+1}$ ($j=1, \dots, r_i$) ブロックと $n_i - r_i$ 個の q_i 階からなる $B_i^{q_i}$ ($j=1, \dots, n_i - r_i$) ブロックに分けられる建物 B_i は $B_i^{q_i}, B_i^{q_i+1}, B_i^{q_i+1}, \dots, B_i^{q_i+1}, B_i^{q_i}, \dots, B_i^{q_i - r_i}$ は次のように分

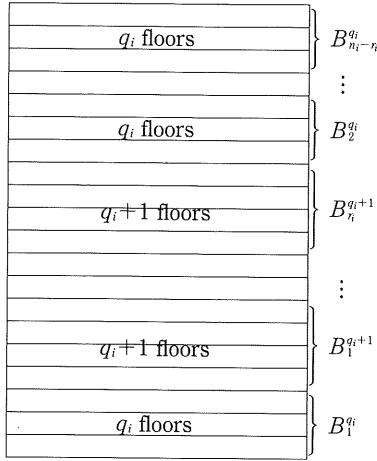


Figure 1

けられる (Figure 1)。設置場所はこのブロックそれぞれに1つ AED を階段に面した位置に割り当てればよいということになる。ここで設置すべき位置は各ブロックごとに $n_i=1$ とした場合と同様に考えればよい。

アルゴリズム $\text{loc}_s(b_i, n_i)$

Step 1: n_i の値による次の2つの場合を考える。

$n_i=1$ の場合、すなわち AED が1台のみ割り当てられている場合、AED の設置階は階数 f_{B_i} が偶数なら $\lfloor f_{B_i}/2 \rfloor$ 階とし、階数 f_{B_i} が奇数なら $\lfloor f_{B_i}/2 \rfloor + 1$ とする。

$n_i > 1$ の場合： f_{B_i} を n_i で割ったときの商 q_i と余り r_i に対し、建物 B_i を各階を r_i 個の $q_i + 1$ 階からなる $B_j^{q_i+1}$ ($j=1, \dots, r_i$) ブロックと $n_i - r_i$ 個の q_i 階からなる $B_j^{q_i}$ ($j=1, \dots, n_i - r_i$) ブロックに分ける。それぞれのブロックをひとつの建物とみなして $\text{loc}_s(B_i, 1)$ を適用し設置場所を決定する。

4.2 数値例 (建物10棟, 20台の AED)

本節では20台の AED を10棟の建物に設置する問題を考える。建物の構造、利用率は Table 1 に示した通りとする。

Table 1

B_i	f_{B_i}	d_{h_i}	d_{w_i}	利用率 u_i (%)
1	3	10.5	50	1.0204
2	3	10.5	50	1.0204
3	4	10.5	40	1.0204
4	4	10.5	40	1.0204
5	6	10.5	50	4.0816
6	6	10.5	70	5.102
7	6	10.5	70	10.2041
8	10	12	110	15.3061
9	10	12	110	20.4082
10	15	12	120	40.8163

この例に対してアルゴリズム $\text{ALOC}(X, B)$ の Step. 2 において仮の AED の割り当てが Table 2 のように求まる。この例では $n_i^{\text{int}}=0$ となる建物が存在す

Table 2

B_i	n_i	u_i	n_i^{int}	仮の割り当て台数
1	0.20	0	0	1
2	0.20	0	0	1
3	0.20	0	0	1
4	0.20	0	0	1
5	0.82	0.03	0	1
6	1.02	0.04	0	1
7	2.04	0.09	0	1
8	3.06	0.14	1	2
9	4.08	0.19	1	2
10	8.16	0.40	3	4

る Case 2 となり n_i^{int} の値に基づいて 5 台の AED が割り当てられ、その後すべての建物に 1 台ずつ AED が割り当てられる。合計で 15 台の AED が割り当てられ、5 台の AED が残ることとなる。

さらに仮の割り当てに対してアルゴリズム $\text{loc}_s(B_i, n_i)$ を適用し、最大距離を評価しながら割り当てを更新することを繰り返す。Table 3 は繰り返しによる解の更新の様子を示しており、4 回の更新によってアルゴリズムは終了する。

Table 3

B_i	1 回目		2 回目		3 回目		4 回目	
	台数	距離	台数	距離	台数	距離	台数	距離
1	1	60.5	1	60.5	1	60.5	1	60.5
2	1	60.5	1	60.5	1	60.5	1	60.5
3	1	61	1	61	1	61	1	61
4	1	61	1	61	1	61	1	61
5	1	81.5	1	81.5	1	81.5	1	81.5
6	1	101.5	1	101.5	1	101.5	1	101.5
7	1	101.5	1	101.5	1	101.5	1	101.5
8	2	134	<u>2</u>	<u>134</u>	<u>3</u>	<u>134</u>	<u>4</u>	<u>122</u>
9	2	134	<u>2</u>	<u>134</u>	<u>3</u>	<u>134</u>	<u>4</u>	<u>122</u>
10	<u>4</u>	<u>144</u>	5	132	5	132	5	132

最大距離	<u>No. 4</u>	<u>144</u>	<u>No. 8, 9</u>	<u>134</u>	<u>No. 8, 9</u>	<u>134</u>
残り台数		<u>5 台</u>		<u>4 台</u>		<u>2 台</u>

4.3. AED の割り当て数に関する分析

アルゴリズム $\text{ALOC}(X, B)$ の割り当てによって最大距離を改善することは可能であるが、AED の数が先に固定されており、アルゴリズムを厳密に適用するとコストの面において非効率的である場合が存在する。

AED の最適配置に関する研究

建物 B_i が階数 f_{B_i} であり n_{B_i} 台の AED が割り当てられたものとする。 $\frac{f_{B_i}}{n_{B_i}} \geq 3$ の範囲では AED の数を増やすことでその建物における最大距離を減らすことができる。しかし $1 \leq \frac{f_{B_i}}{n_{B_i}} < 3$ の範囲においてはすべての階に AED が設置されるまで、すなわち $1 = \frac{f_{B_i}}{n_{B_i}}$ となるまで、最大距離は変化しない。

先の例における建物 No. 10 においては、階数は15階であり、重み付きの高さが $d_{h_i} = 12$ 、幅が $d_{w_i} = 120$ である。この構造において AED の割り当て台数と最大距離の関係をしめたものが以下のグラフである (figure 2.)。AED の割り当て台数が 1 台から 5 台の間は最大距離はおおよそ減り続けている。しかし割り当て台数が 5 台を超えると AED がすべての階に割り当てられる、すなわち AED の台数が15台を超えるまで最大距離は変わらない。この範囲においては最大距離を減らすためには10台の AED の追加が必要であるということであり、コストを考慮すると効率的であるとは言えない。つまり AED の割り当て台数 n_{B_i} は $n_{B_i} \geq \frac{f_{B_i}}{3}$ 、すなわち 3 階に 1 台以上割り当てるのは非効率であるといえる。

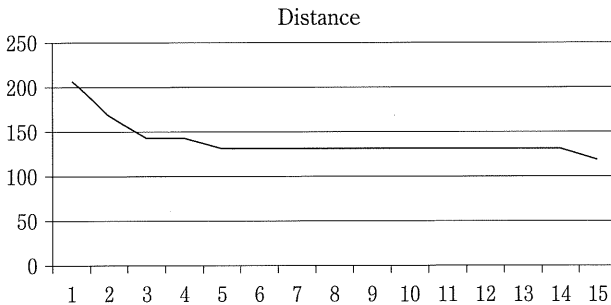


Figure 2

5 複数の建物をまとめるモデル

本節では複数の建物に対するモデルを考える。比較的小規模な建物がまとまって建てられている場合には1つの建物にAEDを1つずつ設置するより複数の建物をまとめた建物群にAEDを配置したほうがより適切である場合が考えられる。そこで以下の仮定を考える。

- 建物群は地上部分によってつながっており、ひとつの点から放射状に各建物に行くことができるようにならわされるものとする。
- 各建物の構造は3節において示した構造であるとする。
- 建物の入口に設置されたAEDのみ他の建物でも利用可能とする。

このモデルを検討するためにグラフ $G(V, E)$ での表現を導入する。ここで辺集合 E は建物の廊下、階段を表した辺 e の集合であり、頂点集合 V は辺 e の端点、結節点となる頂点 e の集合である。建物 B_i^* からなる建物群 B^* に対し中心 v_c より建物 B_i^* の入り口の点 v_i^* までの経路を示す。辺 e_i^* があり、さらに建物内が V と E で表されるものとする。ここで辺 e に対しての重み $|e|$ は辺 e の長さを表すものとする。それぞれの建物 B_i^* に対して入り口の点 v_i^* より最も遠い点 v_i^* が存在する。4.1節で仮定した構造においては最上階の階段とは逆の短点が最も遠い点となる。また v_i^* から v_i^* までの辺の長さの和を p_i^* とすると、建物 B_i^* における中心点 v_c からの距離を L_i^* は $L_i^* = |e_i^*| + p_i^*$ で表される。ここで建物群は中心点から放射状のグラフで表される。4つの建物からなるグラフの例を Figure 3 に示す。

ここでAEDを1台のみ割り当てる場合を考えると明らかにこのグラフに属している最遠点までの最大距離を持つ建物の入り口に配置することが最適となる。さらにAEDを1台増やして割り当てることを考える。このときも明らかに2番目の建物の入り口に配置することが最適となる。これらからAEDが建物の数に満たない間はそれぞれの建物の入り口に配置することになる。しかしながらこれは最適性は満たすが、中心点に近い位置に多くのAEDが設置され、

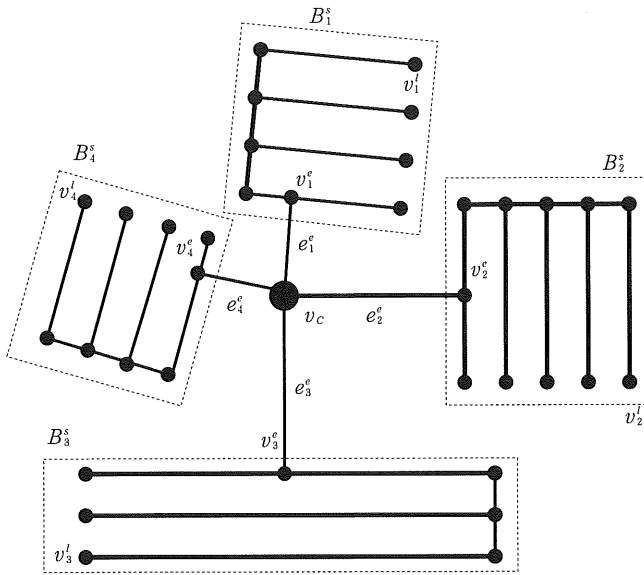


Figure 3. 4つの建物からなる建物群 $G(V, E)$

現実には適切であるとは言えない。そこで提案するアルゴリズムでは AED が 1 台増えるごとに最遠点を持つ建物 B_i を建物群 G から切り離し、建物 B_i と新たな建物群 $G' = G / \{B_i\}$ それぞれに最適な設置位置を決定する。建物 B_i についてはその建物内で最適な設置位置をアルゴリズム $\text{loc}_s(B_i, n_i)$ によって決定し、建物群 G においては最適な位置、すなわち建物群 G 内で最大の最遠点を持つ建物の入り口に設置することとする。この手続きを繰り返すことによって最遠点のみではなく、すべての AED の配置が適切に行われる。

グラフ $G_k(V, E)$ としてまとめられる建物群 B_k に対しその利用率を $u_k = \sum_{\{B_i \in B_k\}} u_i$ とする。複数の建物にまとめない建物についてもグラフ G_k とした表すものとする。すべての建物を含むグラフ集合 $\{G_k\}$ に対しアルゴリズム $\text{ALOC}(N, B)$ をグラフ $G_k(V, E)$ に適用するために拡張した $\text{ALOC}_g(N, B)$ を以下のように定義する。ここでグラフ集合の要素数を m とする。

アルゴリズム $\text{ALOC}_g(N, B)$

Step 1: グラフ G_k に対する AED の仮の割り当て数 n_k^{int} を次のように決定する。
 $n_k^{int} = \lfloor n'_k \rfloor$, ($n_k^{int} : n'_k$ の小数部分を切り捨て)

Step 2: AED の初期割り当てを決定し以下のケースを考える。

Case 1: すべてのグラフに対し少なくとも一つは AED が割り当てられている。
すなわち n_k^{int} に対し $n_k^{int} \geq 1$ である。: このとき各グラフ G_k に対し n_k^{int} 台の AED を配置し、残りの台数 N' を $N' = N - \sum_{k=1}^m n_k^{int}$ とする。

Case 2: AED が一つも割り当てられていないグラフが存在する。すなわち $\exists n_k^{int} \in \{n_k^{int} \mid n_k^{int} = 0, k=1, 2, \dots, m\}$: このとき AED を一つすべてのグラフに割り当てる。最小利用率 u^{min} を $u_k (i=1, 2, \dots, m)$ の最小値とし、すべてのグラフ G_k について利用率 u_k を $u_k - u^{min}$ と更新する。AED の台数 N を $N - m$ と更新する。AED の割り当て数を新しい利用率、AED の数をもとに次のように計算する。 $n'_k = N \times u_k$, $n_k^{int} = \lfloor n'_k \rfloor$ 。各グラフ G_k に対し AED を n_k^{int} 台割り当てる。AED の残り台数は $N' = N - (m + \sum_{k=1}^m n_k^{int})$ となる。

Step 3: 残り N' 台の AED の割り当ての決定する。

アルゴリズム $\text{loc}_g(G_k, n_k)$ によって AED の設置場所と評価を決定する。グラフ集合をアルゴリズム $\text{loc}_g(G_k, n_k)$ の出力に基づいて更新し改善すべきグラフ集合 G' を決定する。

Case 1: もし G' のグラフ数 $|G'|$ が AED の残り台数 N' 以上である場合、残りの AED を適切にアルゴリズム $\text{loc}_g(G_k, n_k)$ によって割り当てる。AED の配分と割り当てを結果として出力し $\text{ALOC}(X, B)$ は終了する。

Case 2: もし G' のグラフ数 $|G|$ が AEDs の残り台数 N' 未満である場合、AED を G' にアルゴリズム $\text{loc}_g(G_k, n_k)$ によってそれぞれ一つずつ割り当て Step 3 を繰り返す。

アルゴリズム $\text{loc}_g(G, n_i)$

Step 1: それぞれの建物に対する最遠点を求め中心からの最大距離を求める。

AED の最適配置に関する研究

Step 2: n_i の値によって次の二つのケースを考える。

$n_i=1$ の場合、最も大きい最大距離の建物 B_i を選び、その建物の入り口に AED を配置する。

$n_i>1$ の場合、最も大きい最大距離の建物 B_i を選び、建物 B_i に対してはアルゴリズム $\text{loc}_s(B_i, 1)$ によって配置を決定する。新しい建物群集合 $G' = G / \{B_i\}$ に対し、アルゴリズム $\text{loc}_g(G, n_i - 1)$ を再帰的に適用する。

Step 2: 入力に対して新たな建物群 G' と独立した建物集合 $\bar{G} = G / G'$ 、建物群 G' と \bar{G} の要素の建物それぞれに対して AED 設置位置と最大距離を出力として返す。

このアルゴリズムにおいても建物の構造に関与する最適化はアルゴリズム $\text{loc}_s(B_i, 1)$ のみであり、異なるアルゴリズムによってさまざまな建物の構造に対しても適用される。

6 ま と め

本論分では AED の割り当て問題に対して配分と設置場所の複合問題として定式化を行い、適切な解を求めるアルゴリズムを提案した。この結果は他の設備、例えば消火器やネットワーク機器の配置などにも応用できるものと考えている。本研究では建物の構造を比較的単純な構造に限定したが、建物の構造ごとにアルゴリズムを検討することでさまざまな建物にも応用可能であると考えている。さらに本研究では機器は同時に 1 台しか必要がないと考えているが複数の危機を同時に使用する場合を考慮する。また確率的な事象を考え、それに基づいた最適配置を検討するなど更なる拡張が考えられ、これは今後の課題である。

謝辞

本研究は2013年度神戸学院大学経済学会研究助成（研究課題「医療におけるスケジューリング」）の支援を受けて行われている。

参 考 文 献

- [1] 厚生労働省（2004），非医療従事者による自動体外式除細動器（AED）の使用について，厚生労働省医政局通知，平成16年7月1日付け医政発第0701001号
- [2] Ichimori, T. (2013) On the proportionality of the relaxed divisor method and the relationship between the five historical methods and the relaxed divisor methods, Transaction of the Operations Research Society of Japan, Vol. 56, 1-14 (in Japanese)
- [3] Elzinga, J. and Hearn, D. W. (1972) Geometrical Solutions for Some Minimax Location Problems, Transportation Science, Vol. 6, No. 4, 379-394
- [4] Mohri, S., Ishii, H., (2015) Optimal allocation of AED, Proc. of International Symposium on Management Engineering, 75-80.
- [5] 日本心臓財団，AEDの普及状況，<http://www.jhf.or.jp/aed/spread.html>，2015年11月4日
- [6] 厚生労働省，自動体外式除細動器（AED）の適正配置に関するガイドラインの公表について，<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/0000024514.html>，2013年9月27日
- [7] 日本循環器学会 AED 検討委員会（2012），AEDの具体的設置・配置基準に関する提言，心臓，Vol. 44 No. 4 391-402