

医師同乗システムと 救急車両配置問題

鈴木 勉

筑波大学大学院システム情報工学研究科

南山大学数理情報研究科・数理情報研究センター
オープン・リサーチ・センター

「都市の持続可能な繁栄のためのインフラストラクチャーの
最適運用計画の策定と普及」

第2回 公開研究会

2007年10月27日 @南山大学

概要

- 心肺停止などの重症患者を病院へ搬送する救急車に医師が同乗する医師同乗システムは、救命現場で医師による的確な診断や救命措置が可能になり、重症患者の救命率の向上につながることを期待されている。
- 搬送時間の長時間化への対策の一つである医師同乗システムの例を概観し、**医師同乗による効果**と、**病院配置と救急車両配置の関係**について議論する。
- 需要増加や広域連携を背景とした応援出場と**救急車両の複数配備**の関連について、 k 次近隣施設を選択することも考えた施設配置問題との関連性を議論する。

配付資料

1. 鈴木 勉 (2004): 搬送時間短縮のための救急車両と医療施設の配置計画, *医療と社会*, 14(1), 125-141.
2. Suzuki, T. and M.J. Hodgson (2005): Optimal facility location with multi-purpose trip making, *IIE Transactions*, 37(5), 481-491.
3. 鈴木 勉・M.J. Hodgson・大山 崇 (2002): 最近隣施設選択仮定を緩和した離散型施設配置モデル, *GIS 理論と応用*, 10(1), 29-37.

救急医療体制の整備の必要性

- わが国は高齡化の急速な進展に直面しており、安心して健康に暮らせる社会づくりが求められている。
- しかし、救急医療体制の整備については、残念ながら現在の整備水準は先進国の中で決して高いとは言えない。
 - 平成3年に救急救命士制度が導入され、また高規格救急自動車の普及が進められ、年々より高度な応急措置が可能となってきている。
 - しかし、救急車の現場到着までの時間が約6.5分(H17)であるのに対し、病院到着までの時間は約31分(H17)と未だ迅速性の面で改善の余地は大きい。
 - 救命率の向上のためには、住民等による速やかな応急手当、救急隊員による高度な応急処置と迅速な搬送、そして医療機関による専門的な治療が必要である。
 - 高齡化に伴い、在宅高齡者の急病のための救急車出場件数はさらに増えることが予想されるため、都市生活のリスク管理上、救急医療水準の高度化は重要な課題である。

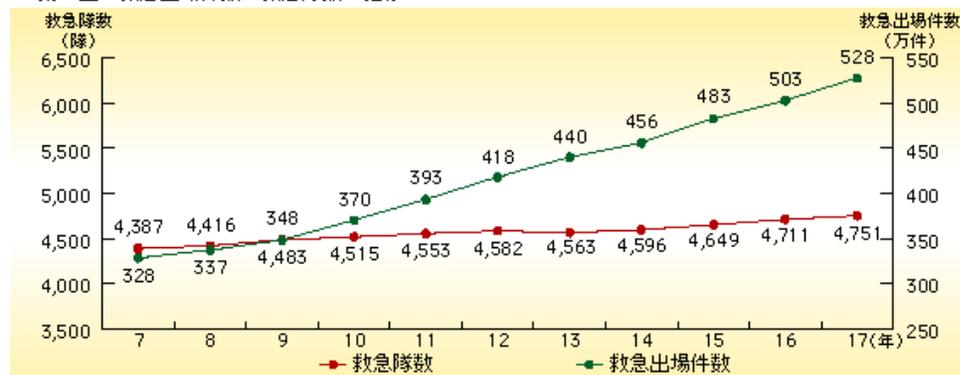
平成18年版 消防白書

- 特集 消防組織の体制強化 - 国民の安心・安全を確保する消防防災体制の確立 -
- トピックスI 火災予防対策の充実強化
- トピックスII 救命率の向上に向けた取組み
- トピックスIII 防災拠点となる公共施設等の耐震化促進

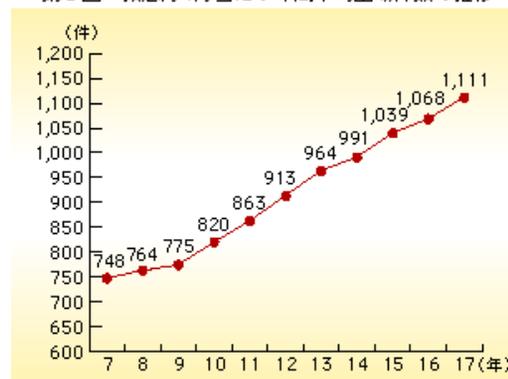
救急需要急増の現状と需要対策

- 救急出場件数は年々増加し、平成17年中は約528万件に達し、10年間で約61%増加している。
- とりわけ高齢者の急病事案の増加が著しく、また、軽症者の搬送が全体の約半数を占めており、さらには頻回利用やタクシー代わり等の不適切利用も指摘されている。
- 一方、各消防本部の厳しい財政事情等により、救急隊の数は10年間で約8.3%の増加にとどまっており、これらの結果、救急隊の現場到着時間は遅延傾向にある。
- 今後も、高齢化や独居化の進展等により、更なる救急出場件数の増加が予想されることから、地域によっては、真に緊急を要する傷病者への対応が遅れ、救命率に影響が出かねない状況にある(第5図、第6図、第7図参照)。

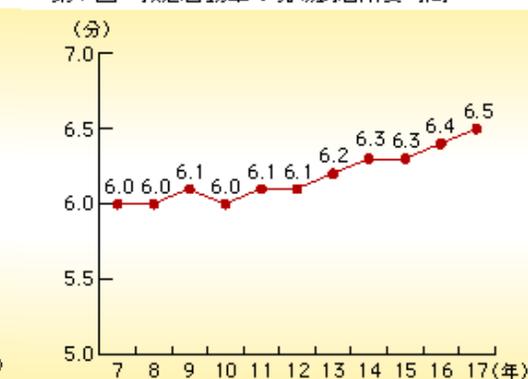
第5図 救急出場件数と救急隊数の推移



第6図 救急隊1隊当たり年間平均出場件数の推移



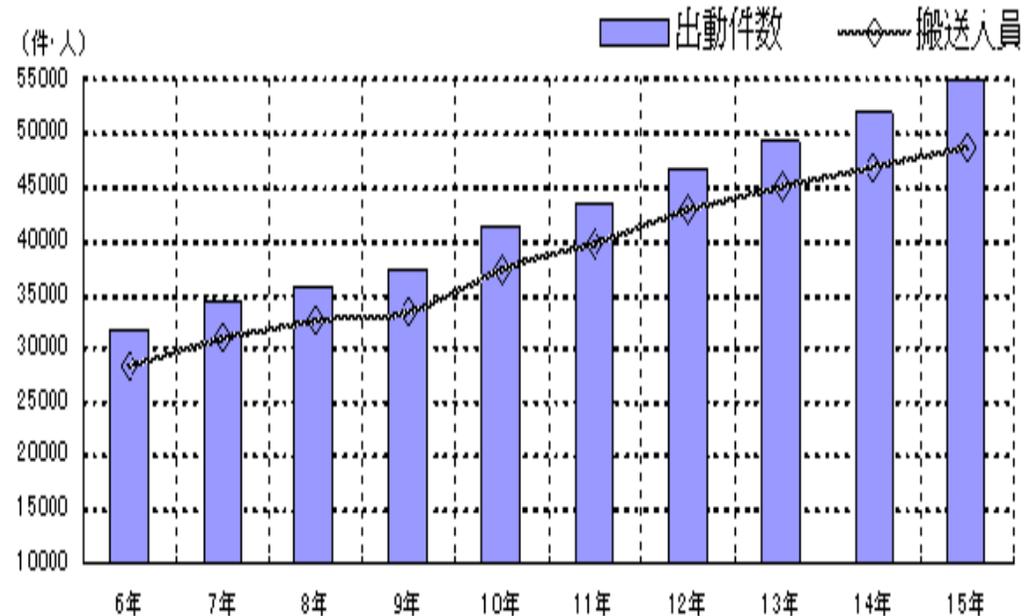
第7図 救急自動車の現場到着所要時間



出典:平成18年版 消防白書

福岡市の救急業務の現状

- 福岡市の救急業務は、市内の各消防署・出張所に配置された22隊の救急隊で行っています。
- 平成15年中の救急出動件数は、54,658件で、48,763人を搬送しました。
- 1日当たりでは約149.7件で、9分37秒に1回出動し、市民の約28.4人に1人が利用した計算になります。10年前の平成6年の救急出動件数と比較すると、約1.7倍もの伸び率を示しました。



出典：福岡市消防局

<http://119.city.fukuoka.jp/h/nenpo/13-27.htm>

救急車の適正利用

- 出動要請の中には、かすり傷程度で呼んだり、急を要する病気ではないが、どこの病院に行けばよいかわからないので案内してもらうために呼ぶなどの安易な要請の増加が目立ち、出動要請全体の増加の大きな要因になっています。これに伴い、出動要請が集中して救急車が出払ったような場合には、遠い所から救急隊が駆けつけることになり、交通混雑の深刻化も加わって、出動要請を受けてから現場到着までの時間は年々長くなっています。
- このため1分1秒を争う生命の危険がある傷病者を待たせてしまうような事態が発生しかねないことから、市民に対して救急車の適正な利用を呼びかけています。

出典：福岡市消防局

<http://119.city.fukuoka.jp/h/nenpo/13-27.htm>

緊急でもないのに救急車を呼ぶ人が増えています。

本当に救急車が必要ですか？

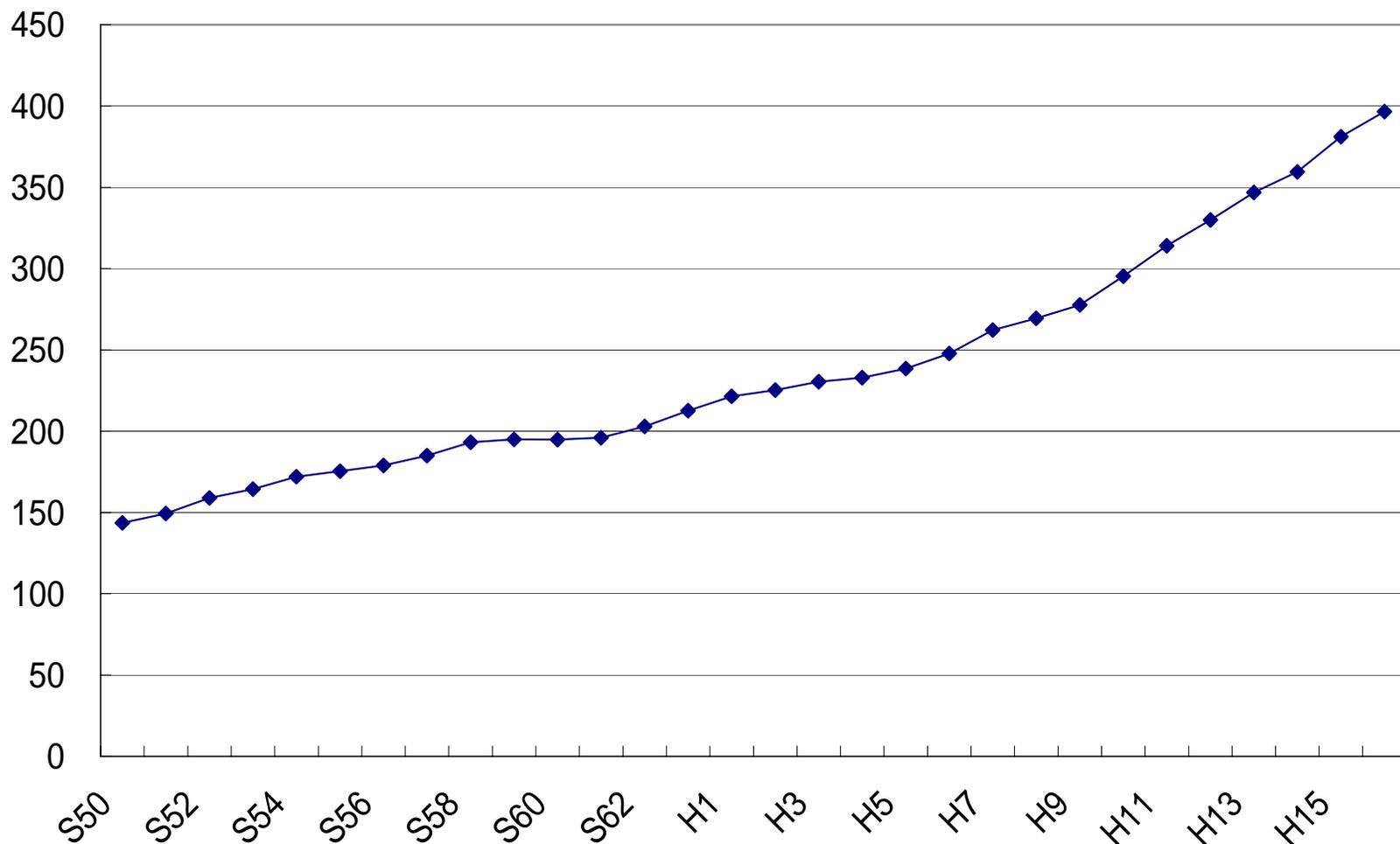
生命の危険がある傷病者を待たせるかも しません。救急車の利用について、 みなさんのご理解とご協力をお願いします。

福岡市消防局

社団法人 福岡市医師会 福岡市救急病院協会

実施市町村内における人口1万人あたりの救急出場件数

出典:消防白書

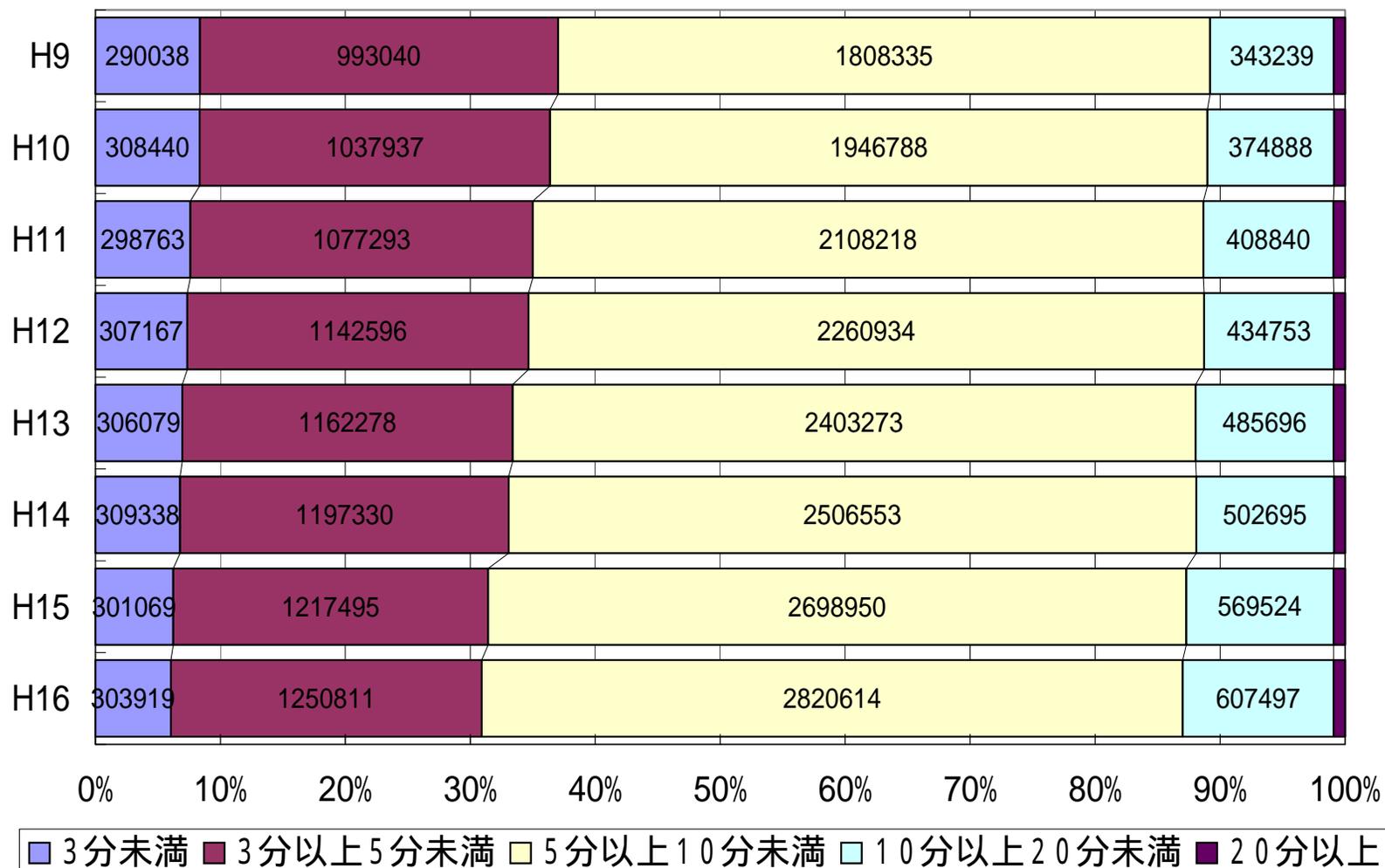


実施市町村内における人口1万人あたりの救急出場件数

- 昭和50年から平成16年の四半世紀で、144件から397件へと倍以上に増大
- 特に近年の伸び率の上昇が著しい。
- 都道府県別では、昼間人口比率の高い大都市都心部を抱える地域での件数が多い(東京は569件)が、比較的件数の少ない県(最小は福井県の270件)でも伸び率は上昇している。
- 兵庫県では、阪神淡路大震災のあった平成7年にピーク(292件)があるが、現在の件数(388件)の水準はこのときの水準をはるかに超えている。

現場到着所要時間別出場件数の構成比の推移

出典:消防白書

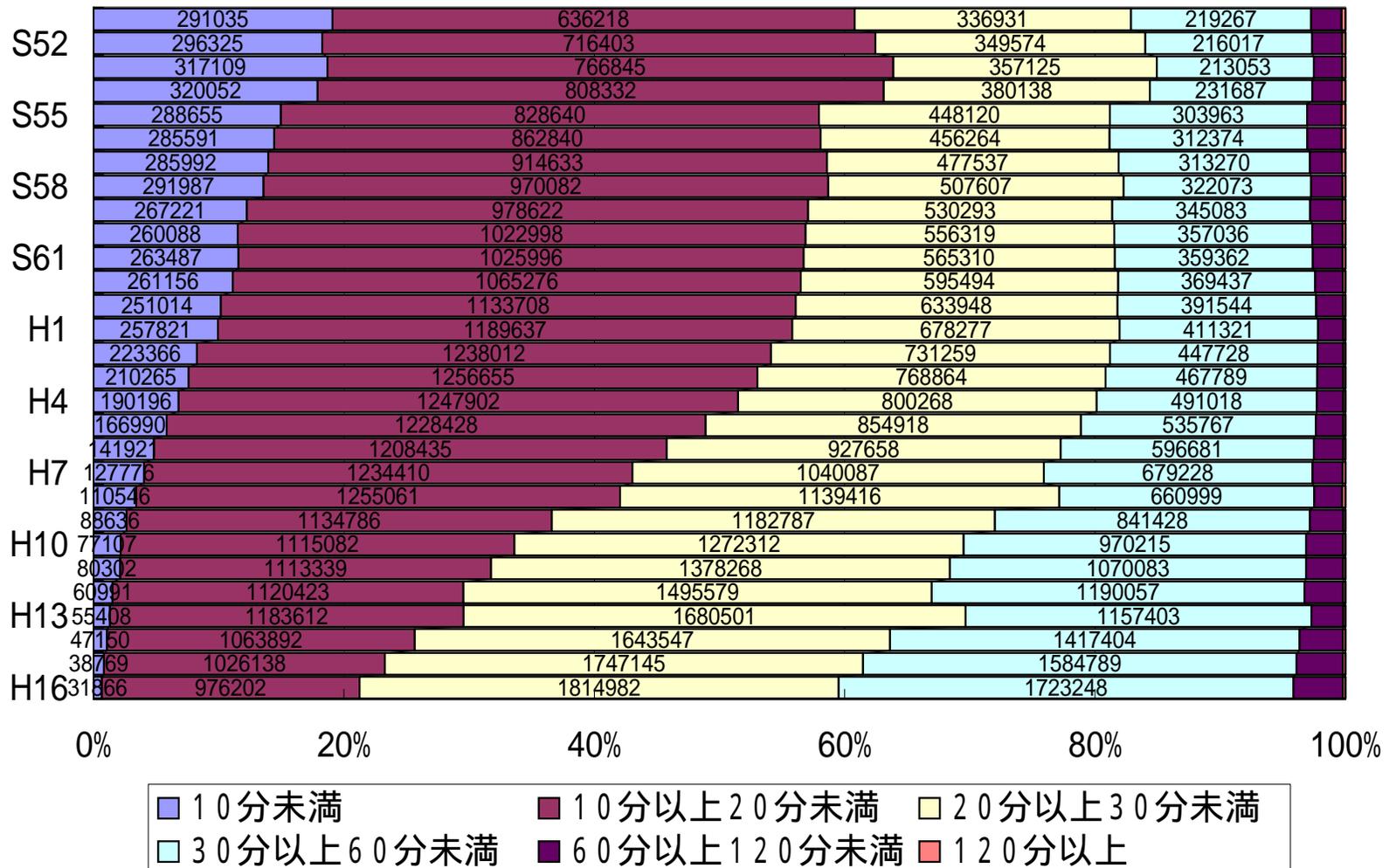


現場到着所要時間別出場件数の 構成比の推移

- 現場到着所要時間 = 救急事故の覚知から現場に到着するまでに要した時間
- 平成17年の救急自動車による出場件数では、5～10分が2,974,437件で最も多く、全体の半数以上(56.4%)になっている。
- 5分未満の割合は減少し、5分以上の割合が増加している。
- 平均現場到着所要時間は、6.5分となっている。

収容所要時間別搬送人員の 構成比の推移

出典：消防白書

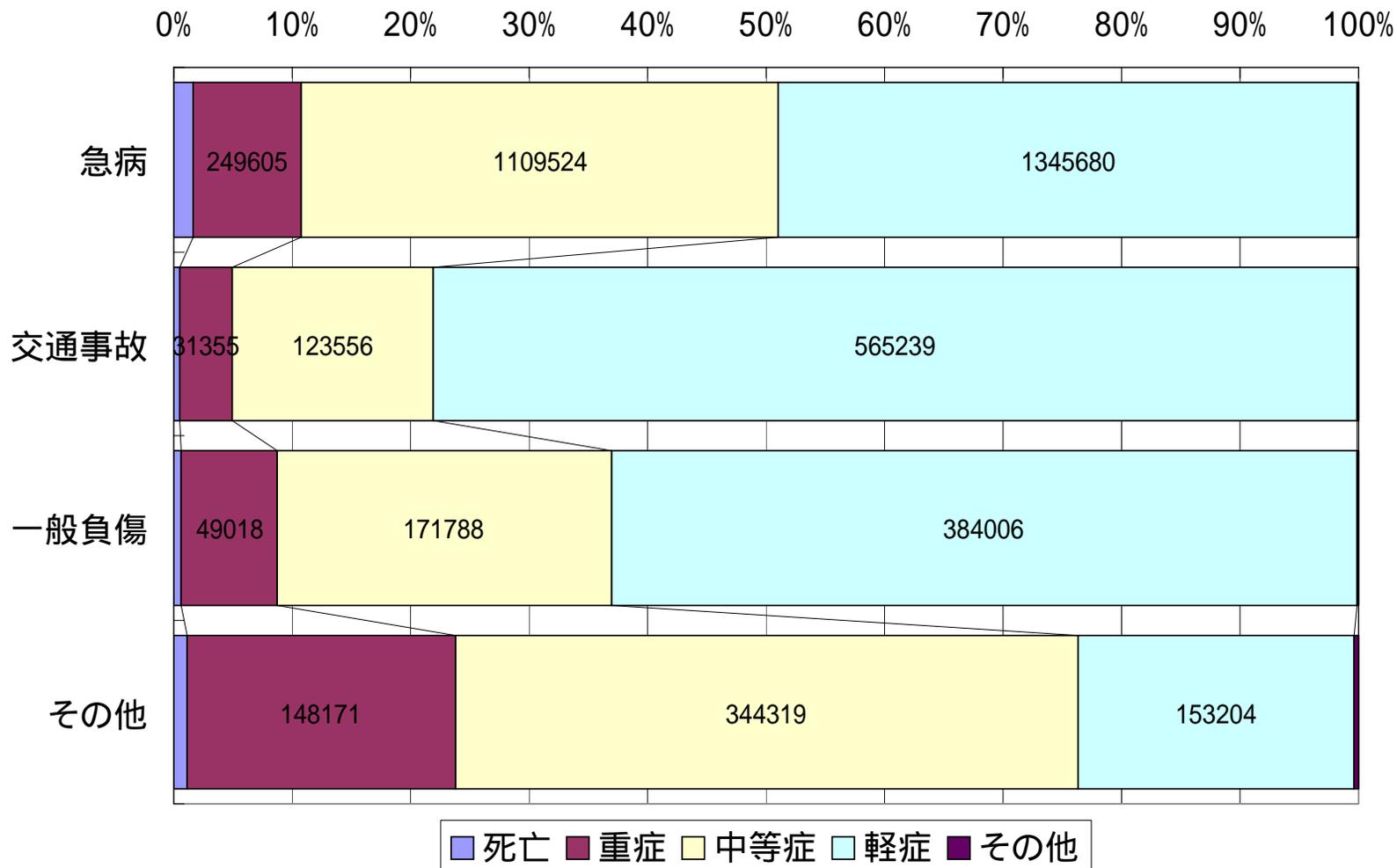


収容所要時間別搬送人員の 構成比の推移

- 収容所要時間 = 救急事故の覚知から医療機関等に収容するまでに要した時間
- 平成17年の救急自動車による搬送人員では、20～30分が1,864,860人(全体の37.6%)で最も多く、次いで30～60分の1,931,180人(同38.9%)となっている。
- 20分未満の割合は減少し、20分以上の割合が増加している。
- 医療機関までの収容時間の平均は31.0分となっており、平成9年の26.0分から年々増加を見せている。

事故種別傷病程度別搬送人員 (平成16年)

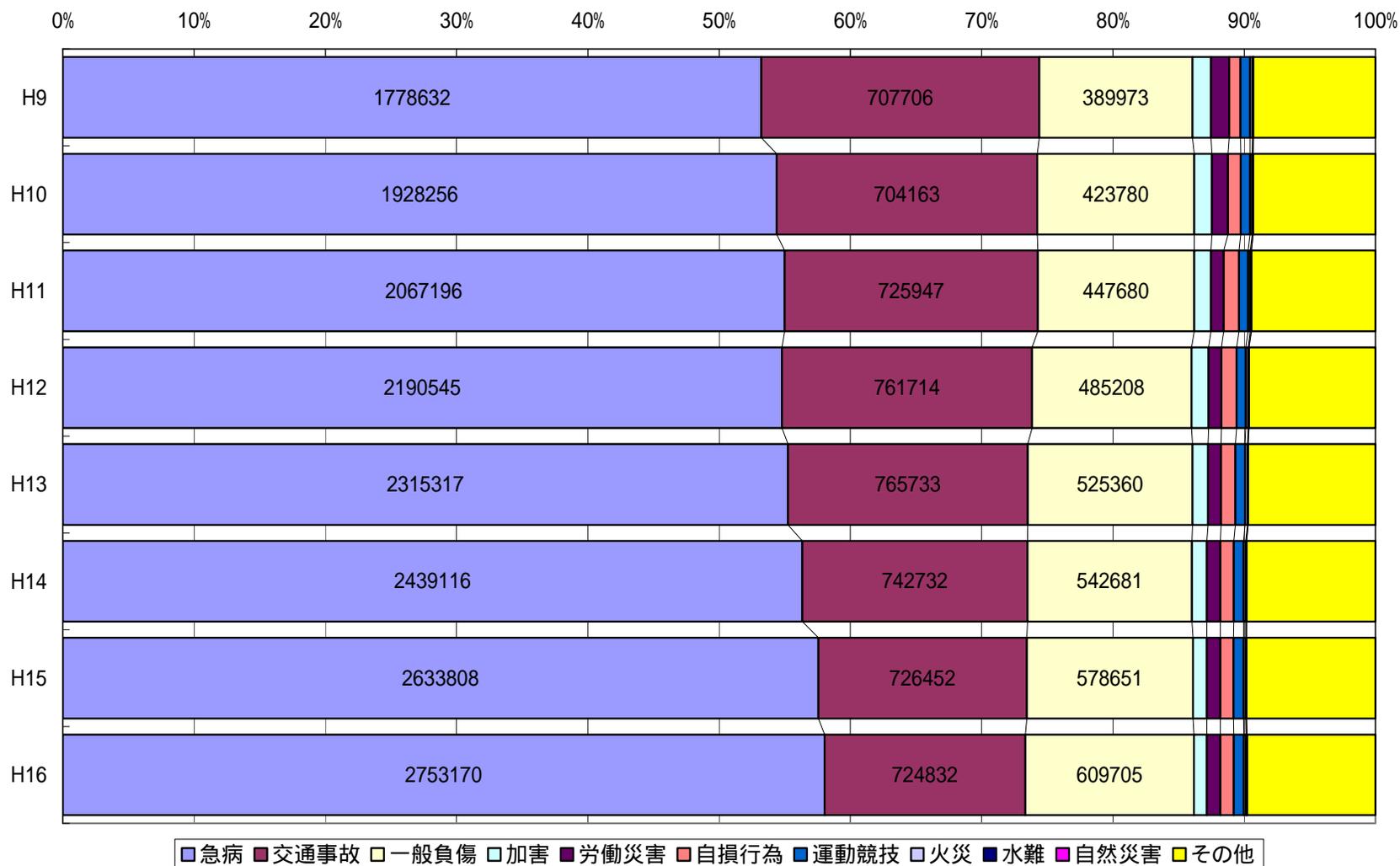
出典:消防白書



事故種別傷病程度別搬送人員 (平成16年)

- 平成16年の救急自動車による搬送人員のうち,
 - **死亡** = 初診時において死亡が確認されたもの 61,843人
 - **重症** = 傷病程度が3週間の入院加療を必要とするもの以上 478,149人
 - **中等症** = 傷病程度が入院を要するもので重症に至らないもの 1,749,187人
- の傷病者の割合は全体の48.3%
 - 入院加療を必要としない**軽症傷病者** 2,448,129人
 - **その他** = 医師の診断がないもの 6,161人
- の割合は51.7%
- 事故種別では,**急病**の死亡・重症・中等症の傷病者の割合が高く,逆に交通事故のそれは低い.
- **軽症傷病者**の割合は大都市57.5%に対し,その他の都市48.8%と,**大都市**の方が多くなっている.
- 一方,**重症傷病者**の割合は大都市6.5%に対して,その他の都市11.8%と**その他の都市**の方が多くなっている.

救急自動車による事故種別搬送人員の推移

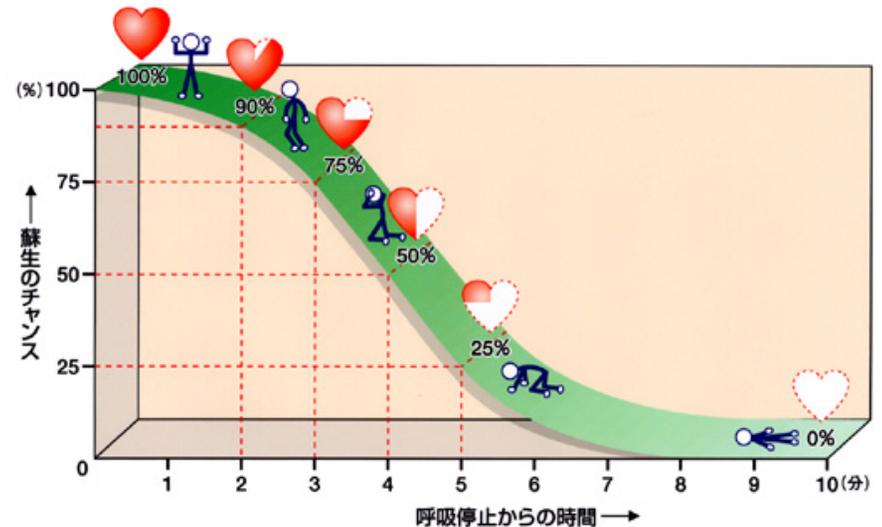


ドリンカーの救命曲線

- 生命に危険のある心肺停止が起きたときは、**4分以内**に適切な処置が行われれば**5割**の生命が助かるが、**5分後**では**25%**、**6分後**では**10%**、**8分後**ではほとんど助からないといったように救命率は急落する。
 - 緊急を要する重症傷病者に対して、なるべく早く医師の下へ届け、適切な医療行為を享受することは、救急業務の効果を上げるためには重要である。
 - 緊急を要しない場合でも、搬送時間の短い救急医療を実現することは、プレホスピタル・ケアの充実とともに、安心できる社会づくりにとって重要な事項である。

ドリンカーの救命曲線

(下図は呼吸停止後から人工呼吸や心肺蘇生法をはじめるまでの時間と蘇生の割合の関係をイメージ化したものです。)



出典: <http://www.city.kurashiki.okayama.jp/fire119/iza/drinker.html>

取り組むべき対策

(1) 軽症利用者等への代替措置の提供 (民間の患者等搬送事業者等の活用)

- 症状は軽微だが「交通手段がない」、「どの病院に行けばよいか不明」といった要請に対しては、民間の患者等搬送事業者など代替的な移送サービスや病院情報の提供を行うことが効果的であり、これらのサービスの利用を促進することとした。
- 患者等搬送事業については、事業者が業務の質を担保しつつ、より円滑に事業を行えるよう、「患者等搬送事業指導基準」及び「患者等搬送事業認定基準」の一部を改正し、ベッド等を備えた専用車に加え、車椅子のみを固定できる自動車についても患者等搬送用自動車(車椅子専用)として認定することとした。

取り組むべき対策

(2) 転院搬送業務への病院救急車の活用

- 病院間の転院搬送は、消防機関が行う全救急搬送の1割近くを占める一方、経費負担等の理由から相当数の病院救急車が十分に活用されていないのが実態である。
- このような課題に対応し、病院救急車の運用経費を軽減することで病院間の転院搬送に活用させるため、複数病院による共同活用や民間事業者の活用等の方策について検討を行い、複数病院による病院救急車運用の民間委託についてのモデルを示した。
- 現在、このモデルの実用化に向けた検討を進めているところである。

取り組むべき対策

(3) 119番受信時等における緊急度・重症度の選別(トリアージ)

- 緊急度・重症度の高い傷病者に対してより迅速な対応を行うため、119番受信時及び救急現場における緊急度・重症度の選別(トリアージ)の導入を検討し、内因性の疾患を中心として、緊急度・重症度を判断する運用要領の作成に着手した。
- 平成18年度には「救急業務におけるトリアージに関する検討会」を開催し、選別基準や運用要領の更なる検討や実際に運用を行うとした場合の問題点等の諸課題についての検討を進めているところである。

海外の事例

- アメリカやイギリス, カナダなどでは**パラメディック(救急看護師)**という資格を有する救急隊員が一定の医療行為を許される制度が, 高い救命率を実現している. (円山・黒澤・稲葉, 1997)
- フランスやドイツでは, 医師を現場まで派遣する**ドクターカー(医師同乗救急車)**が現場到着と同時に医療行為に取りかかることにより, 高い救命率を実現している.

(毛利, 1997; 小林, 1997)



ドクターカー・ドクターヘリの事例 (国内)

- 必要に応じて医師を同乗させ現場まで向かい患者の処置を行う「ドクターカー」や、病院にヘリポートを設置して医師をピックアップして現場に向かう「ドクターヘリ」などの例。(大塚, 1991)
 - 兵庫県西宮市では、西宮市消防局に隣接する県立西宮病院救急医療センターが昭和54年よりドクターカーの運用を行っている。平成12年の西宮市の全出場件数13,953件のうち、ドクターカー出場件数は113件とおよそ0.8%に及んでいる。(杉野, 1997)
 - 長野県松本市でも市消防本部と信州大学附属病院とがドクターカーを運用している。
 - 市立札幌病院救命救急センターでは、隣接する消防局に救急ワークステーションがあり、救急救命士が24時間待機している。また、会津若松市では、会津中央病院救命救急センターが昭和61年にドクターカーシステムの運用を開始している。(平間, 1997)

船橋市のドクターカーの事例

- 千葉県船橋市では、医師会から救命率を高めるためにドクターカーシステムを導入してはどうかという話がもちあがり、医療問題懇談会から市長に答申され、平成4年11月に市立医療センターに隣接して「船橋市消防局救急ステーション」を開設し、救急救命士等により編成した特別救急隊を発足させ、24時間医師を同乗し出場する「船橋市救急車医師同乗システム」の運用を開始し、プレホスピタル・ケアの充実に取り組んでいる。
- 平成5年4月より夜間も市医師会の医師が交代で常駐することによる24時間体制を整えた。
- 船橋市におけるドクターカーシステムは、出場要請から医師が現場に着くまでの平均所要時間が約10分であり、救命率の向上に大きく寄与している。



ドクターカー普及上の課題

- 医師の不足
- 病院が保有する場合のドライバーの不足
- 駐車スペースの問題
- 出動基準の不在
- 選別方法 など

1. 救急車両と救急医療施設の配置問題

■ 背景

- 現代社会における安全・安心の確立が求められている中、都市計画の分野でも様々なリスクに対する対応が求められている。

■ 目的

- 救急車両と医療施設の配置および救急車の運用方法を対象とした救急搬送モデル
- 搬送時間の長時間化への対策の一つである医師同乗システムの例を概観
- 医師同乗による効果と病院配置と救急車両配置の関係について議論

既往研究

- 救急車単独の配置の適正化の研究や、救急車の逐次的な移転などの具体的な改善方策を提案するもの、病院を考慮してはいるものの救急車の病院への設置を仮定しての唯一の病院の位置を決定するモデルを提案するものがほとんどである。
- 救急車両と医療施設を総合的に捉えて、全体の目標像を明らかにできる研究は行われていない。
- これまでの建築・都市計画・OR分野での研究例
 - Achabal (1978)
 - Adenso-Diaz and Rodriguez (1997)
 - Berlin, ReVelle and Elzinga (1976)
 - Daskin and Haghani (1984)
 - Hyman and Mayhew (1983)
 - 金子・山本・大内(2002)
 - Marianov and ReVelle (1996)
 - McAleer and Naqvi (1994)
 - 両角(1984)
 - 中山・伊藤(1989)
 - 大内・高倉・横塚(1994)
 - Repede and Bernardo (1994)
 - ReVelle and Snyder (1995)
 - 高山・黒田(2000)
 - 友清・両角(1990, 1991)

研究方法

- 救急システムをモデル化し、複数多種類の施設を対象とした配置最適化の手法を用いた救急車両及び救急病院の配置最適化問題を以下の3通りについて定式化する。
 - [PA] 病院を固定して救急車の配置を最適化する場合
 - [PH] 救急車を固定して病院の配置を最適化する場合
 - [PAH] 病院と救急車の配置を同時に最適化する場合
- 配置案を搬送時間で比較・評価し、配置方策の違いによるサービス水準の差違を定量化する。
- ドクターカーシステムを導入した場合の最適配置とその運用方法をタイプ別に求め、それらの導入効果を定量化する。
 - (N) 通常方式
 - (R) ランデブー方式
 - (D) ドッキング方式

救急システムの類型

■ (N) 一般方式

- 119番覚知の後、救急車が現場に向かい、患者を収容して病院へ搬送し、医師による治療を受ける。

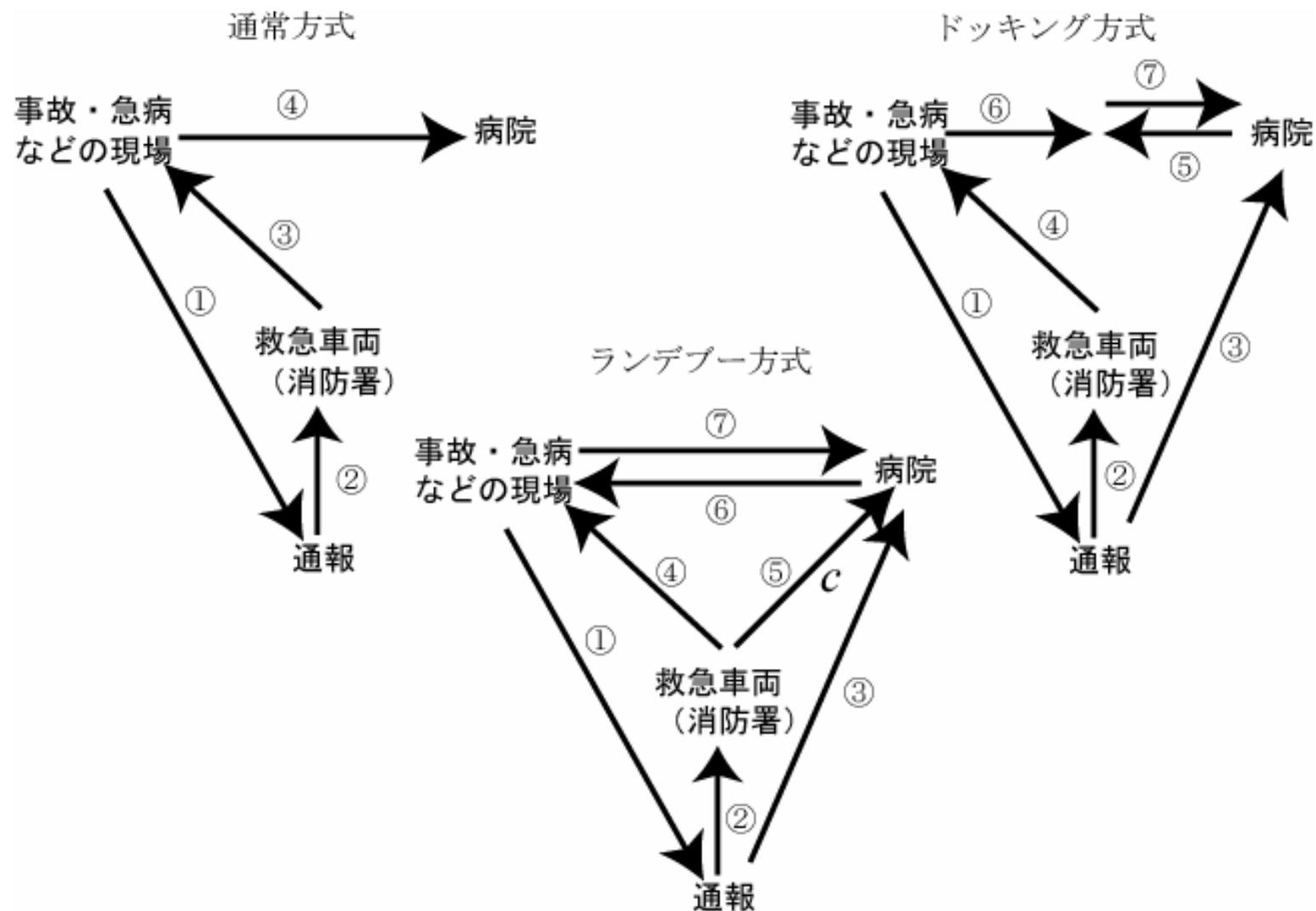
■ (R) ランデブー方式

- 119番覚知の際に、患者の容態が重篤(a. 重症心疾患およびこれに準ずる心肺蘇生を必要とする患者, b. 救出に時間がかかり救命上治療手段を必要とする場合, c. 同時に多数の負傷者が発生した場合)と判断されれば、まず救急車が現場へ向かい、他の救急車が病院へ急行し、医師を乗せてから現場へ向かって、先の救急車と落ち合い、患者の治療に当たる方法。
- この方式ではドクターカーは消防署にある。

■ (D) ドッキング方式

- 119番覚知により、まず消防署の救急車、あるいは県のヘリコプターが現地に赴き、患者の救助を行う。
- 患者が重篤と判断されれば消防署から救命救急センターへ出動要請を行い、救命救急センターのドクターカーが医師を乗せて出場し、消防署の救急車(または県のヘリ)が患者を病院へ搬送する途中でドクターカーとドッキングし、以後の治療を医師に委ねる方式である。
- この方式では、フランスのサミュと同様、ドクターカーは病院にある。長距離・長時間輸送に有用とされている。

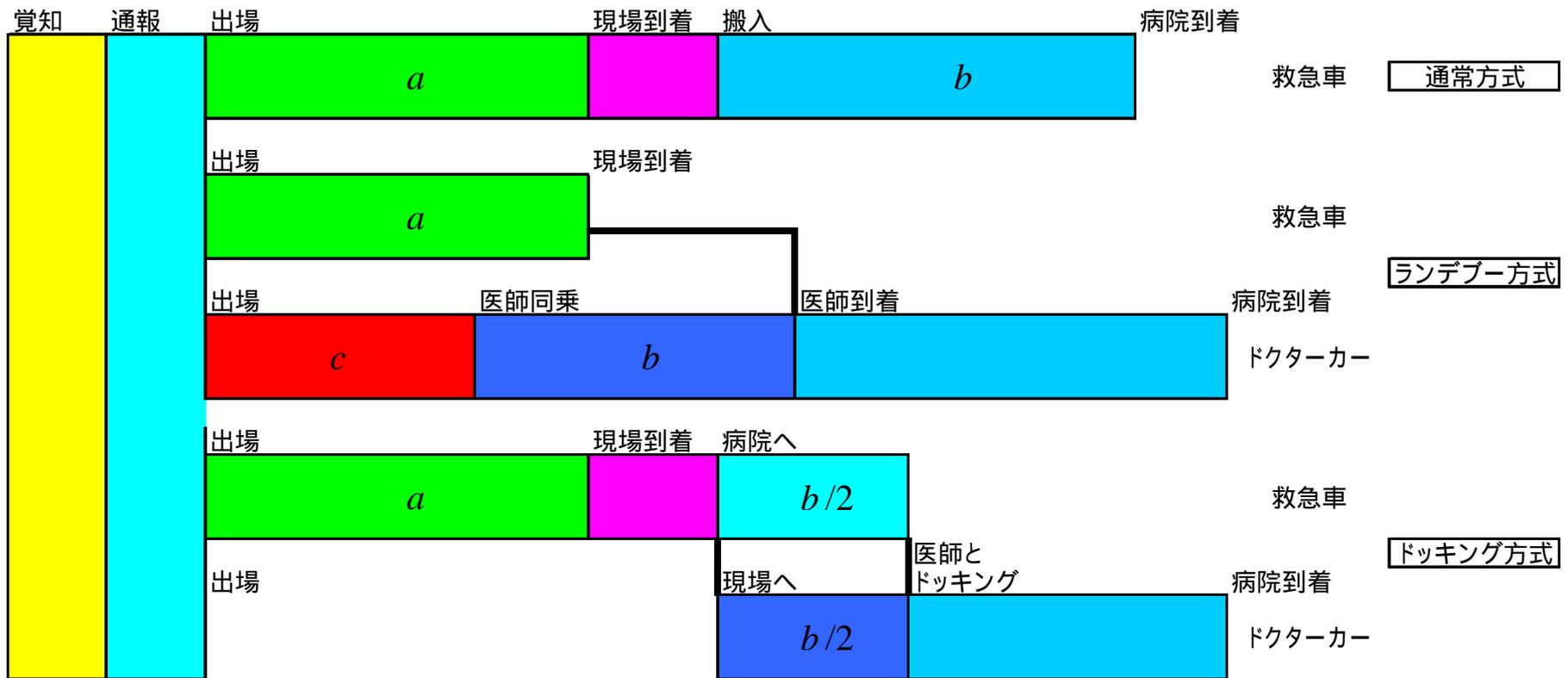
救急システムの類型



単純化のための仮定

- 救急車両や医師はいつでも出場可能
- 最も近い救急車両および病院が利用可能
- 距離は直線距離で近似

各方式による時間の経過と救急車両の動き



病院を固定して救急車両の配置を最適化する場合・通常方式 [PA-N]

$$\min_{x^A, x^H, y^A} T_N = \sum_i w_i \left(\sum_j d_{ij} x_{ij}^A + \sum_k d_{ik} x_{ik}^H \right)$$

subject to

$$\sum_j x_{ij}^A = 1$$

$$x_{ij}^A \leq y_j^A$$

$$\sum_k x_{ik}^H = 1$$

$$x_{ik}^H \leq y_k^H$$

$$\sum_j y_j^A = p_A$$

$$x_{ij}^A \in \{0,1\}$$

$$x_{ik}^H \in \{0,1\}$$

$$y_j^A \in \{0,1\}$$

$$y_k^H \in \{0,1\}$$

$$w_i$$

$$d_{ij}$$

$$p_A$$

需要*i*の救急車両*j*への配分

需要*i*の病院*k*への配分

*j*における救急車両の存在

*k*における病院の存在 **所与**

*i*における需要量

*i*から*j*までの距離

配置されるべき救急車両数

病院を固定して救急車両の配置を最適化する場合・ランデブー方式 [PA-R]

zとおく

$$\min_{x^A, x^H, y^A} T_R = \sum_i w_i \left(\sum_j \sum_k d_{jk} x_{ij}^A x_{ik}^H + \sum_k d_{ik} x_{ik}^H \right)$$

subject to

$$\sum_j x_{ij}^A = 1$$

$$x_{ij}^A \leq y_j^A$$

$$\sum_k x_{ik}^H = 1$$

$$x_{ik}^H \leq y_k^H$$

$$\sum_j y_j^A = p_A$$

$$x_{ij}^A \in \{0,1\}$$

$$x_{ik}^H \in \{0,1\}$$

$$y_j^A \in \{0,1\}$$

$$y_k^H \in \{0,1\}$$

$$w_i$$

$$d_{ij}$$

$$p_A$$

需要*i*の救急車両*j*への配分

需要*i*の病院*k*への配分

*j*における救急車両の存在

*k*における病院の存在 **所与**

*i*における需要量

*i*から*j*までの距離

配置されるべき救急車両数

病院を固定して救急車両の配置を最適化する場合・ランデブー方式 [PA-R']

$$\min_{x^A, x^H, y^A, z} T_R = \sum_i w_i \left(\sum_j z_{ij} + \sum_k d_{ik} x_{ik}^H \right)$$

subject to

$$\sum_j x_{ij}^A = 1$$

$$x_{ij}^A \leq y_j^A$$

$$\sum_k x_{ik}^H = 1$$

$$x_{ik}^H \leq y_k^H$$

$$\sum_j y_j^A = p_A$$

$$0 \leq z_{ij} \leq x_{ij}^A \sum_k d_{jk}$$

$$0 \leq \sum_k d_{jk} x_{ik}^H - z_{ij} \leq (1 - x_{ij}^A) \sum_k d_{jk}$$

$$x_{ij}^A \in \{0,1\}$$

$$x_{ik}^H \in \{0,1\}$$

$$y_j^A \in \{0,1\}$$

$$y_k^H \in \{0,1\}$$

$$w_i$$

$$d_{ij}$$

$$p_A$$

需要*i*の救急車両*j*への配分

需要*i*の病院*k*への配分

*j*における救急車両の存在

*k*における病院の存在 **所与**

*i*における需要量

*i*から*j*までの距離

配置されるべき救急車両数

線形混合0-1計画問題

病院を固定して救急車両の配置を最適化する場合・ドッキング方式 [PA-D]

$$\min_{x^A, x^H, y^A} T_D = \sum_i w_i \left(\sum_j d_{ij} x_{ij}^A + \frac{1}{2} \sum_k d_{ik} x_{ik}^H \right)$$

subject to

$$\sum_j x_{ij}^A = 1$$

$$x_{ij}^A \leq y_j^A$$

$$\sum_k x_{ik}^H = 1$$

$$x_{ik}^H \leq y_k^H$$

$$\sum_j y_j^A = p_A$$

$$x_{ij}^A \in \{0,1\}$$

$$x_{ik}^H \in \{0,1\}$$

$$y_j^A \in \{0,1\}$$

$$y_k^H \in \{0,1\}$$

$$w_i$$

$$d_{ij}$$

$$p_A$$

需要*i*の救急車両*j*への配分

需要*i*の病院*k*への配分

*j*における救急車両の存在

*k*における病院の存在 **所与**

*i*における需要量

*i*から*j*までの距離

配置されるべき救急車両数

救急車両を固定して病院の配置を最適化する場合・通常方式 [PH-N]

$$\min_{x^A, x^H, y^H} T_N = \sum_i w_i \left(\sum_j d_{ij} x_{ij}^A + \sum_k d_{ik} x_{ik}^H \right)$$

subject to

$$\sum_j x_{ij}^A = 1$$

$$x_{ij}^A \leq y_j^A$$

$$\sum_k x_{ik}^H = 1$$

$$x_{ik}^H \leq y_k^H$$

$$\sum_k y_k^H = p_H$$

$$x_{ij}^A \in \{0,1\}$$

$$x_{ik}^H \in \{0,1\}$$

$$y_j^A \in \{0,1\}$$

$$y_k^H \in \{0,1\}$$

$$w_i$$

$$d_{ij}$$

$$p_H$$

需要*i*の救急車両*j*への配分

需要*i*の病院*k*への配分

*j*における救急車両の存在 所与

*k*における病院の存在

*i*における需要量

*i*から*j*までの距離

配置されるべき病院数

救急車両を固定して病院の配置を最適化する場合・ランデブー方式 [PH-R]

$$\min_{x^A, x^H, y^H} T_R = \sum_i w_i \left(\sum_j \sum_k d_{jk} x_{ij}^A x_{ik}^H + \sum_k d_{ik} x_{ik}^H \right)$$

subject to

$$\sum_j x_{ij}^A = 1$$

$$x_{ij}^A \leq y_j^A$$

$$\sum_k x_{ik}^H = 1$$

$$x_{ik}^H \leq y_k^H$$

$$\sum_k y_k^H = P_H$$

$$x_{ij}^A \in \{0,1\}$$

$$x_{ik}^H \in \{0,1\}$$

$$y_j^A \in \{0,1\}$$

$$y_k^H \in \{0,1\}$$

$$w_i$$

$$d_{ij}$$

$$P_H$$

需要*i*の救急車両*j*への配分

需要*i*の病院*k*への配分

*j*における救急車両の存在 所与

*k*における病院の存在

*i*における需要量

*i*から*j*までの距離

配置されるべき病院数

[PA-R]と同様に
線形混合0-1計画問題
に

救急車両を固定して病院の配置を最適化する場合・ドッキング方式 [PH-D]

$$\min_{x^A, x^H, y^H} T_D = \sum_i w_i \left(\sum_j d_{ij} x_{ij}^A + \frac{1}{2} \sum_k d_{ik} x_{ik}^H \right)$$

subject to

$\sum_j x_{ij}^A = 1$	$x_{ij}^A \in \{0,1\}$	需要 <i>i</i> の救急車両 <i>j</i> への配分
$x_{ij}^A \leq y_j^A$	$x_{ik}^H \in \{0,1\}$	需要 <i>i</i> の病院 <i>k</i> への配分
$\sum_k x_{ik}^H = 1$	$y_j^A \in \{0,1\}$	<i>j</i> における救急車両の存在 所与
$x_{ik}^H \leq y_k^H$	$y_k^H \in \{0,1\}$	<i>k</i> における病院の存在
$\sum_k y_k^H = P_H$	w_i	<i>i</i> における需要量
	d_{ij}	<i>i</i> から <i>j</i> までの距離
	P_H	配置されるべき病院数

救急車両の配置と病院の配置を同時に最適化する問題・通常方式 [PAH-N]

独立な2つのp-median問題

$$\min_{x^A, x^H, y^A, y^H} T_N = \sum_i w_i \left(\sum_j d_{ij} x_{ij}^A + \sum_k d_{ik} x_{ik}^H \right)$$

subject to

$$\sum_j x_{ij}^A = 1$$

$$x_{ij}^A \leq y_j^A$$

$$\sum_k x_{ik}^H = 1$$

$$x_{ik}^H \leq y_k^H$$

$$\sum_j y_j^A = p_A$$

$$\sum_k y_k^H = p_H$$

$$x_{ij}^A \in \{0,1\}$$

$$x_{ik}^H \in \{0,1\}$$

$$y_j^A \in \{0,1\}$$

$$y_k^H \in \{0,1\}$$

$$w_i$$

$$d_{ij}$$

$$p_A$$

$$p_H$$

需要*i*の救急車両*j*への配分

需要*i*の病院*k*への配分

*j*における救急車両の存在

*k*における病院の存在

*i*における需要量

*i*から*j*までの距離

配置されるべき救急車両数

配置されるべき病院数

救急車両の配置と病院の配置を同時に最適化する問題・ランデブー方式 [PAH-R]

$$\min_{x^A, x^H, y^A, y^H} T_R = \sum_i w_i \left(\sum_j \sum_k d_{jk} x_{ij}^A x_{ik}^H + \sum_k d_{ik} x_{ik}^H \right)$$

subject to

$x_{ij}^A \in \{0,1\}$	需要 <i>i</i> の救急車両 <i>j</i> への配分
$x_{ik}^H \in \{0,1\}$	需要 <i>i</i> の病院 <i>k</i> への配分
$y_j^A \in \{0,1\}$	<i>j</i> における救急車両の存在
$y_k^H \in \{0,1\}$	<i>k</i> における病院の存在
w_i	<i>i</i> における需要量
d_{ij}	<i>i</i> から <i>j</i> までの距離
$\sum_j x_{ij}^A = 1$	
$x_{ij}^A \leq y_j^A$	
$\sum_k x_{ik}^H = 1$	
$x_{ik}^H \leq y_k^H$	
$\sum_j y_j^A = p_A$	p_A 配置されるべき救急車両数
$\sum_k y_k^H = p_H$	p_H 配置されるべき病院数

[PA-R] [PH-R]と同様に線形混合0-1計画問題に

救急車両の配置と病院の配置を同時に最適化する問題・ドッキング方式 [PAH-D]

$$\min_{x^A, x^H, y^A, y^H} T_D = \sum_i w_i \left(\sum_j d_{ij} x_{ij}^A + \frac{1}{2} \sum_k d_{ik} x_{ik}^H \right)$$

subject to

$$\sum_j x_{ij}^A = 1$$

$$x_{ij}^A \leq y_j^A$$

$$\sum_k x_{ik}^H = 1$$

$$x_{ik}^H \leq y_k^H$$

$$\sum_j y_j^A = p_A$$

$$\sum_k y_k^H = p_H$$

$$x_{ij}^A \in \{0,1\}$$

$$x_{ik}^H \in \{0,1\}$$

$$y_j^A \in \{0,1\}$$

$$y_k^H \in \{0,1\}$$

$$w_i$$

$$d_{ij}$$

$$p_A$$

$$p_H$$

需要*i*の救急車両*j*への配分

需要*i*の病院*k*への配分

*j*における救急車両の存在

*k*における病院の存在

*i*における需要量

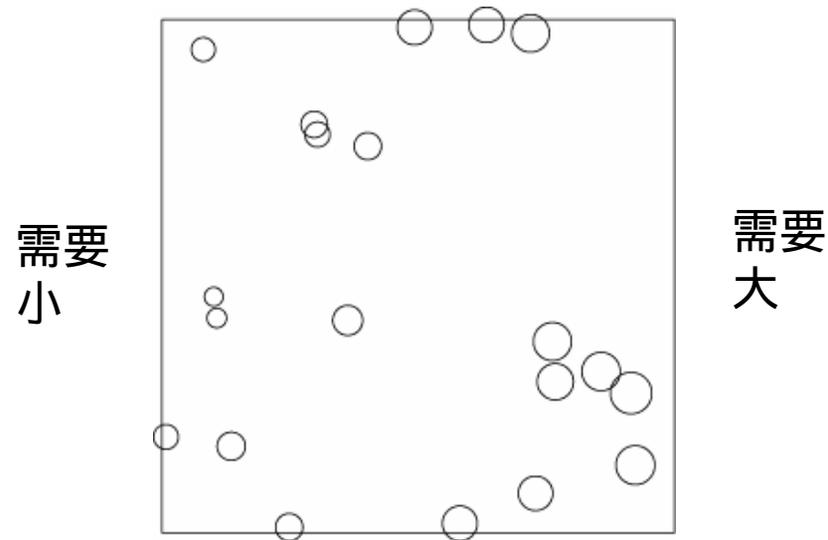
*i*から*j*までの距離

配置されるべき救急車両数

配置されるべき病院数

仮想都市と需要分布

- 一辺1の長さの正方形内にランダムに配置している20箇所の地域からなる領域
- この20箇所に救急需要が存在し、救急車両や病院の配置候補場所もこの20箇所のいずれかであるものと仮定
- 需要の分布は右側(東側)が大きく、左側(西側)が小さい。
- ケース
 - (i) 救急車両数 $p_A=2$, 病院数 $p_H=4$
 - (ii) 救急車両数 $p_A=3$, 病院数 $p_H=3$
 - (iii) 救急車両数 $p_A=4$, 病院数 $p_H=2$

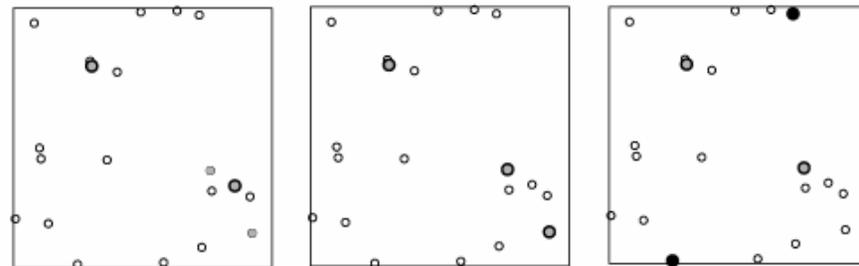
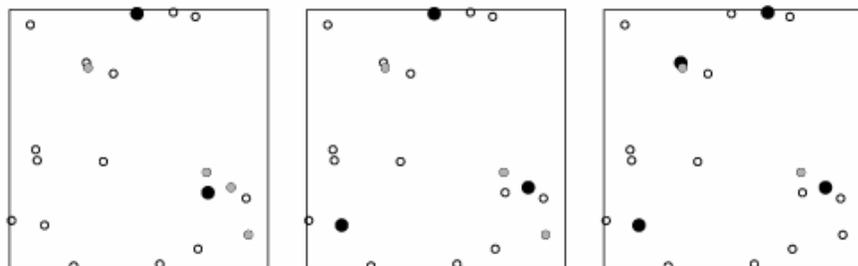


仮想都市における最適配置

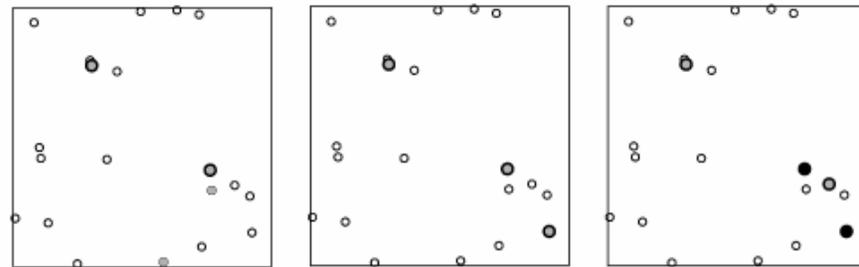
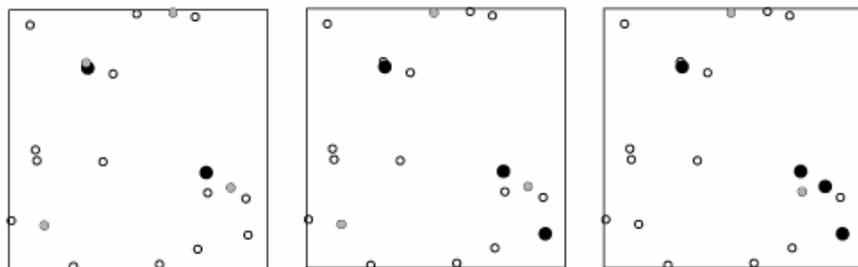
通常方式(N)・ドッキング方式(D)

ランデブー方式(R)

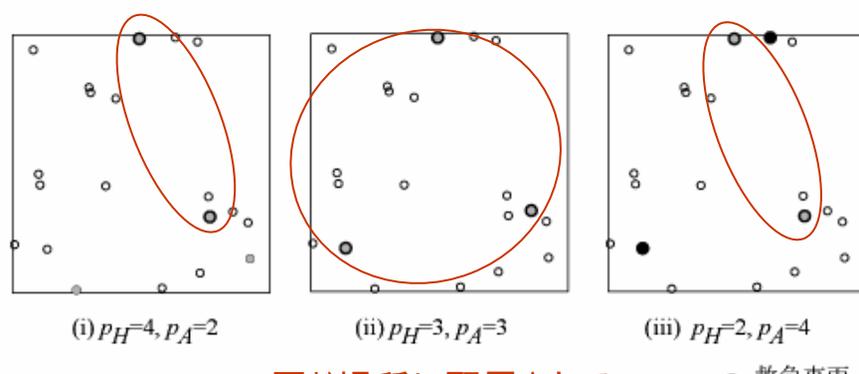
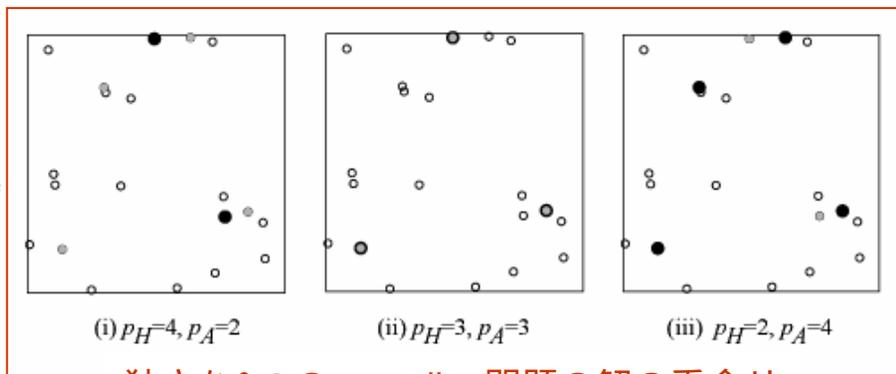
[PA]
病院を所与
としたときの
救急車両の
最適配置



[PH]
救急車両を
所与とした
ときの病院
の最適配置



[PAH]
救急車両と
病院の同時
決定による
最適配置



独立な2つのp-median問題の解の重合せ

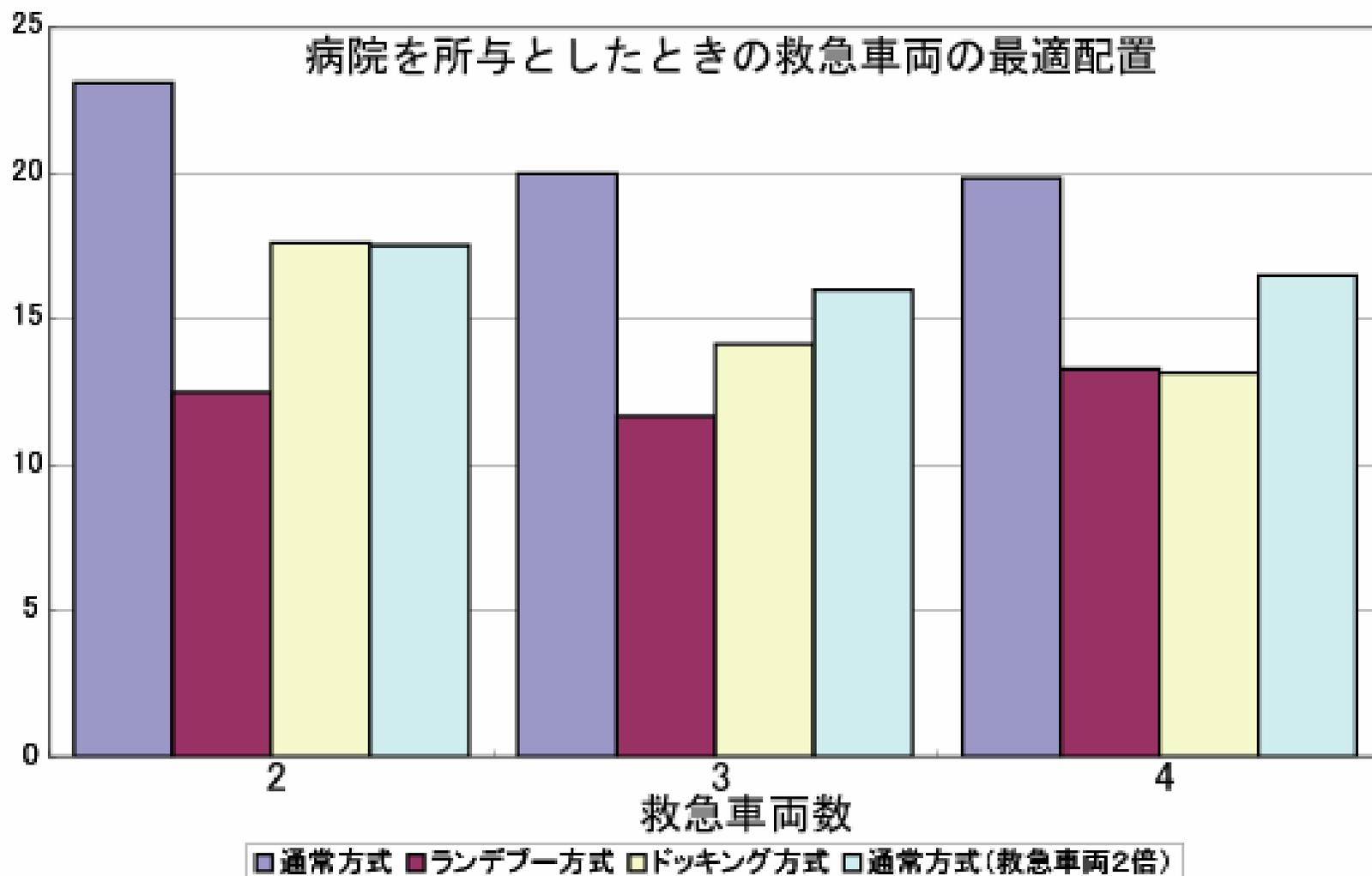
同じ場所に配置される

● 救急車両
○ 病院

病院を固定して救急車両の配置を最適化する場合 [PA]

- 通常方式の場合、救急車両の位置は、病院の位置とは独立に、需要にとって最もアクセシビリティが高くなるように決定される。つまり、救急車両の配置は、一般に病院の位置とは一致しない。ドッキング方式の場合も、通常方式の場合と同様である。
- これに対し、ランデブー方式の場合は、(i)救急車両数が病院数よりも少ない場合は、病院のある場所に救急車両が配置される。(iii)救急車両数の方が多い場合でも、病院のある場所には必ず配置される(他の救急車両は使用されないため、どこにあっても同じである)。
- 実現される総移動距離は、(i)救急車両数が病院数よりも少ない場合はランデブー方式による効果が最も高いが、(iii)救急車両数が病院数よりも多い場合は、ドッキング方式も同程度に効果がある。
- ドクターカーシステムの場合は、現場に直接急行する救急車両と、医師を同乗させる救急車両の両方が必要になるので、条件を同じにして比較するために、救急車両数を2倍の台数とした場合の通常方式とも比較すると、(i)救急車両数が病院数よりも少ない場合はランデブー方式のみが有利であるが、(iii)救急車両数が病院数よりも多い場合は、ドッキング方式も同程度に有利であることがわかる。

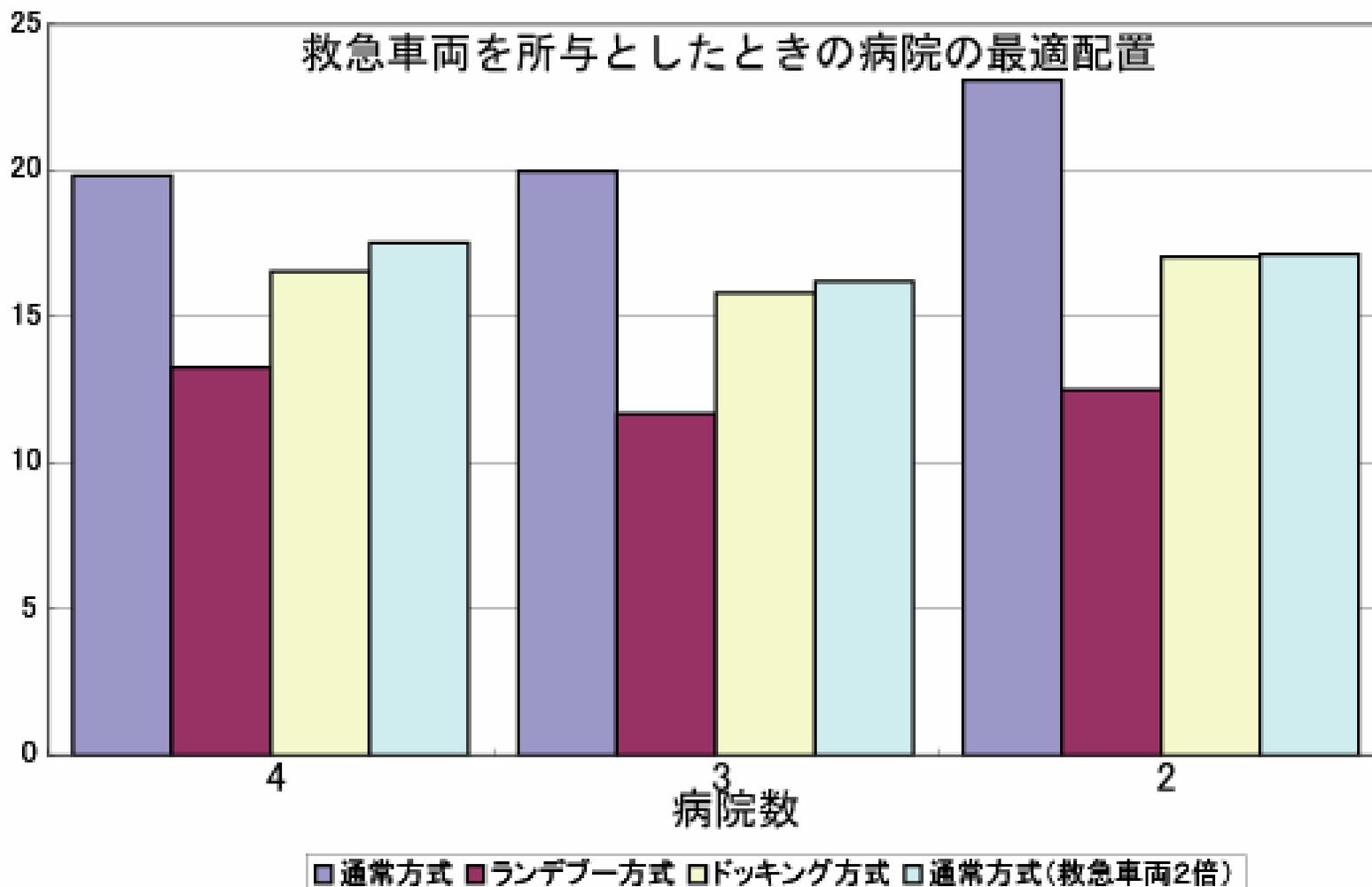
最適配置によって実現する移動距離 [PA]



救急車両を固定して病院の配置を最適化する場合 [PH]

- **通常方式**の場合，病院の位置は，救急車両の位置とは独立に，需要にとって最もアクセシビリティが高くなるように決定される．つまり，**病院の配置は，一般に救急車両の位置とは一致しない**．**ドッキング方式**の場合も，通常方式の場合と同様である．
- これに対し，**ランデブー方式**の場合は，(i)救急車両数が病院数よりも少ない場合は，**救急車両のある場所には必ず配置される**（他の病院は，そこでは医師のピックアップがなされないため，どこにあっても同じである）．(ii)救急車両数の方が**多い場合でも，救急車両のある場所に病院が配置される**．
- 実現される総移動距離は，どのケースでもランデブー方式による効果が最も高い．**救急車両数を2倍の台数とした場合の通常方式と比較しても，(i)救急車両数が病院数よりも少ない場合，(ii)救急車両数が病院数よりも多い場合ともに，ランデブー方式が有利であることがわかる**．

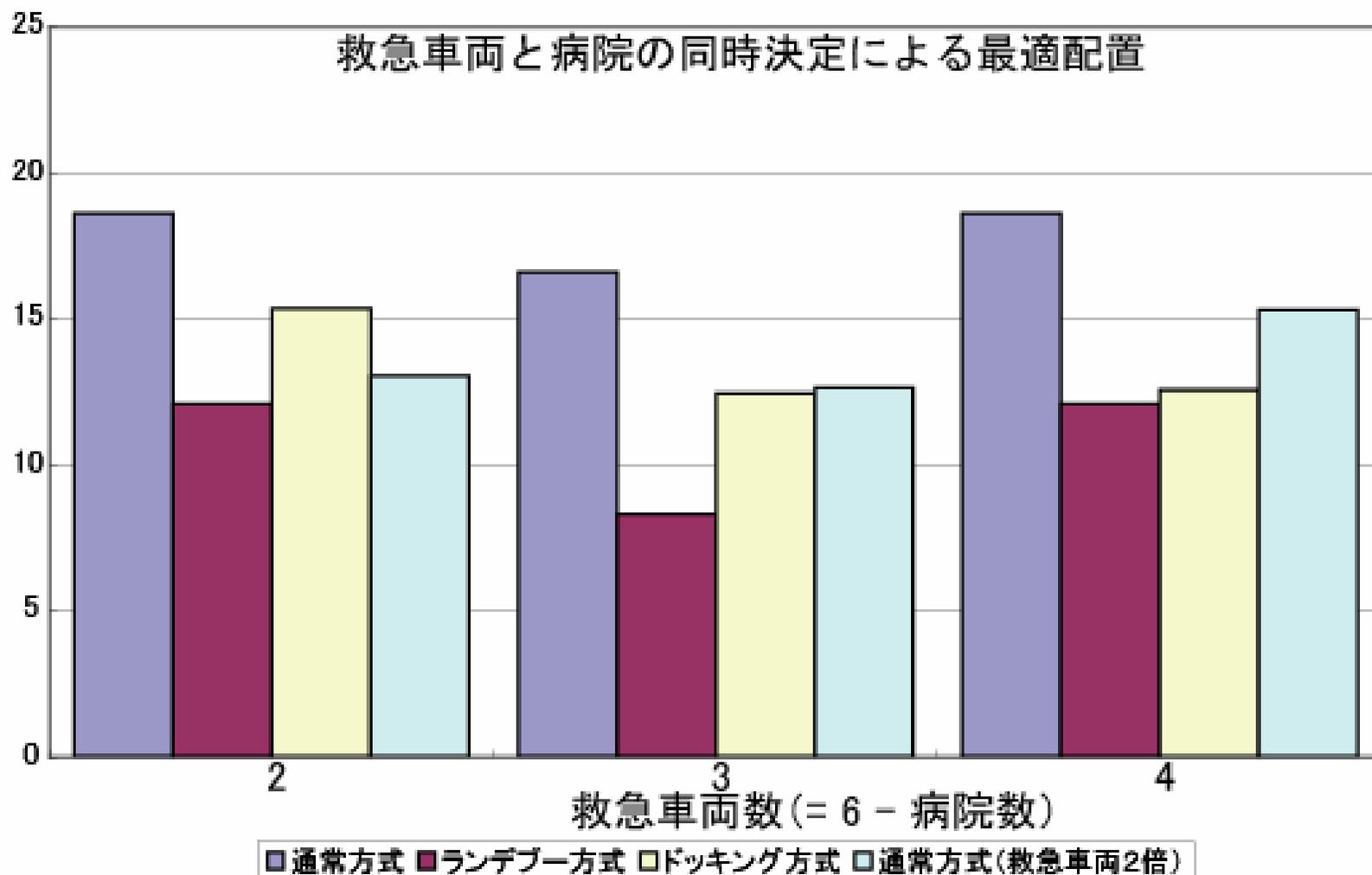
最適配置によって実現する移動距離 [PH]



救急車両の配置および病院の配置を同時に最適化する場合 [PAH]

- **通常方式**の場合、救急車両の位置も病院の位置も、互いに独立に、需要にとって最もアクセシビリティが高くなるように決定される。つまり、**双方の配置は、一般に相手の位置とは一致しない**。**ドッキング方式**の場合も、通常方式の場合と同様である。
- これに対し、**ランデブー方式**の場合は、(i)救急車両数が病院数よりも少ない場合は、**救急車両のある場所には必ず病院が配置され**、(iii)救急車両数の方が多い場合は、**病院のある場所には必ず救急車両が配置される**。
- 実現される総移動距離は、(i)救急車両数が病院数よりも少ない場合はランデブー方式による効果が最も高いが、(iii)救急車両数が病院数よりも多い場合は、ドッキング方式も同程度に効果がある。
- **救急車両数を2倍**の台数とした場合の通常方式との比較では、(i)救急車両数が病院数よりも少ない場合は通常方式も有利であり、ドクターカーシステムの優位性は見られないが、(iii)救急車両数が病院数よりも多い場合は、ドクターカーシステムの方が優位であり、ランデブー方式とドッキング方式の差も小さいことがわかる。総移動距離が少ないのは、(ii)救急車両と病院の数が同じ場合であることもわかる。

最適配置によって実現する移動距離 [PAH]



分析結果

- 救急車両や病院の適正配置は、救急搬送システムにおけるドクターカー導入の効果を高めることができる。
- 特に、ランデブー方式は、通常方式に比べて、救急車両と病院を組合せて配置することによって、搬送距離の大幅な短縮を図ることが可能となることがわかる。
- また、救急病院の数が限られる地域では、病院数の多い地域に比べて、ドッキング方式も同程度に優位になることが明らかとなった。
- 本例では、ドクターカーシステムの採用によって搬送距離の2～3割の短縮が可能であることが明らかとなった。実際の地域でも同程度の短縮が可能とすれば、例えば現在の東京における約15分の搬送時間(出場から病院到着まで)のうち、3～5分の短縮が可能となる計算になる。搬送時間の長い地方部では更なる短縮が可能となると考えられる。
- 救命率の向上など、より直接的な効果を定量化するには、救急救命士制度による救命措置の効果等も考慮する必要があるため、より詳細な検討が必要である。

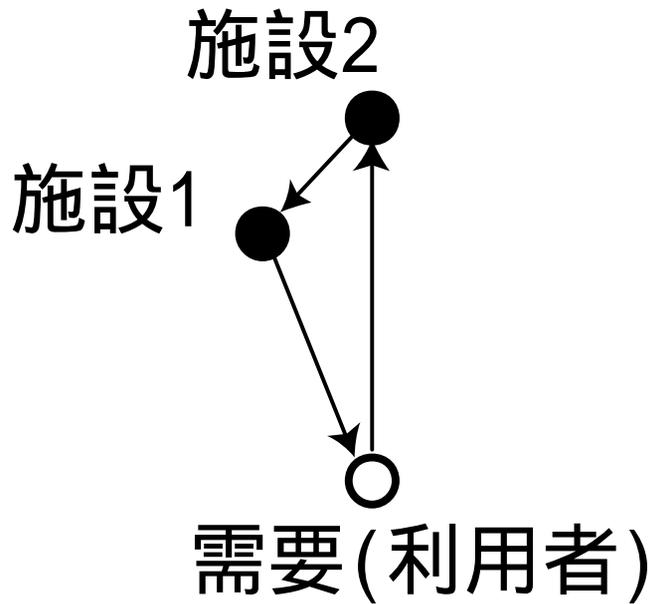
病院と救急車両のcolocation

- 医師同乗システム
 - 病院にいる医師を搬送するためのcolocation

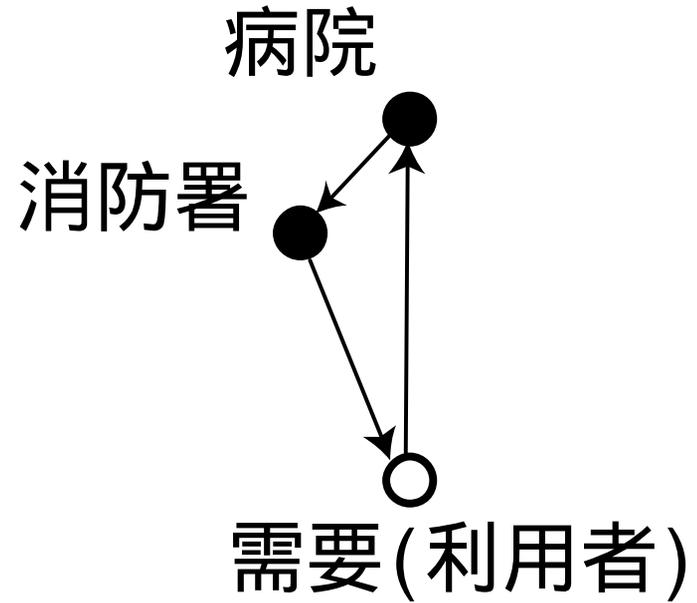
- 病院→消防署への帰還
 - 周遊行程によりcolocationが有利になる

2. Optimal Facility Location with Multi-purpose Trip Making

- **周遊行動**を仮定した場合の施設配置問題
 - 買い回り行動
 - 病院と調剤薬局
 - 救急車両(消防署)と病院
- 周遊行動の存在によって最適解がどのような影響を受けるか
 - 最適解の施設配置にクラスターの形成をもたらす
 - **異種施設**のcolocation

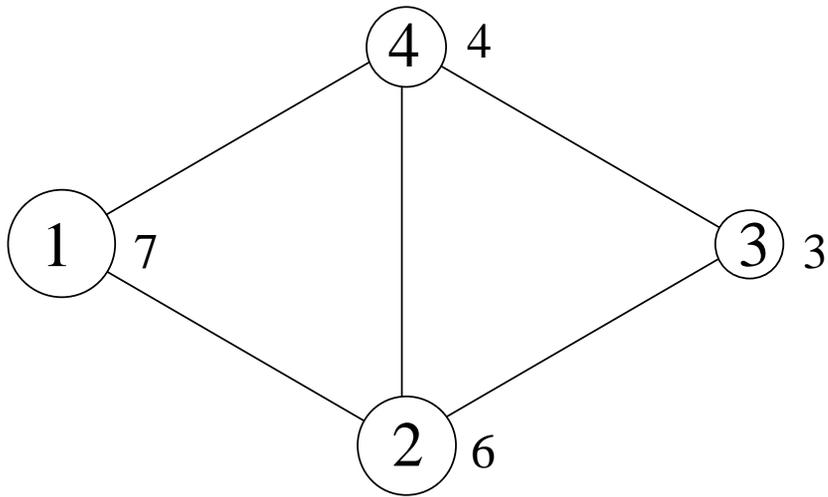


周遊行動

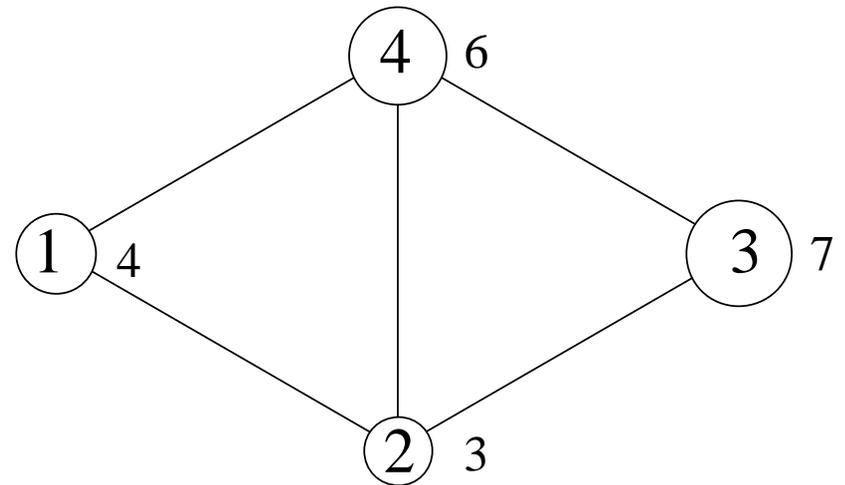


救急車両の動き

Demonstration problem

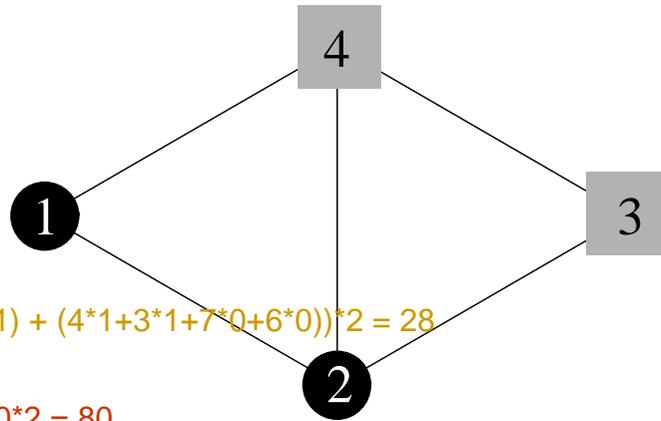
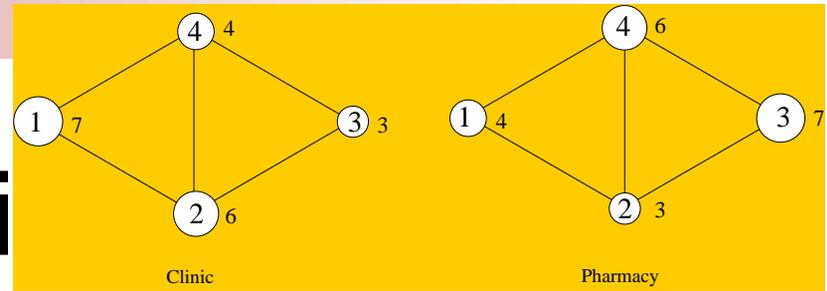


Clinic



Pharmacy

Three facility confi



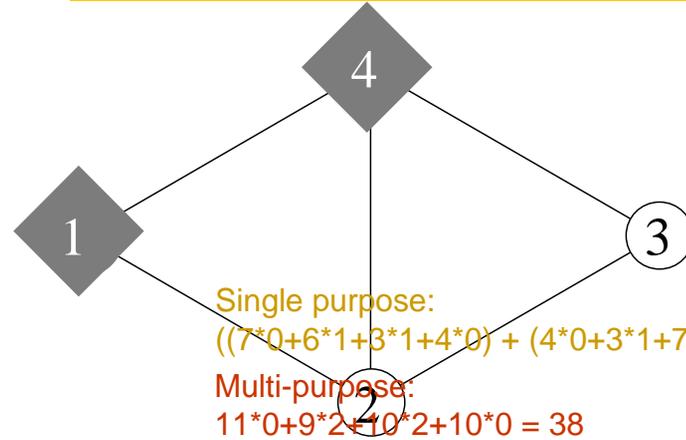
Configuration 1

Single purpose:

$$((7*0+6*0+3*1+4*1) + (4*1+3*1+7*0+6*0))*2 = 28$$

Multi-purpose:

$$11*2+9*2+10*2+10*2 = 80$$



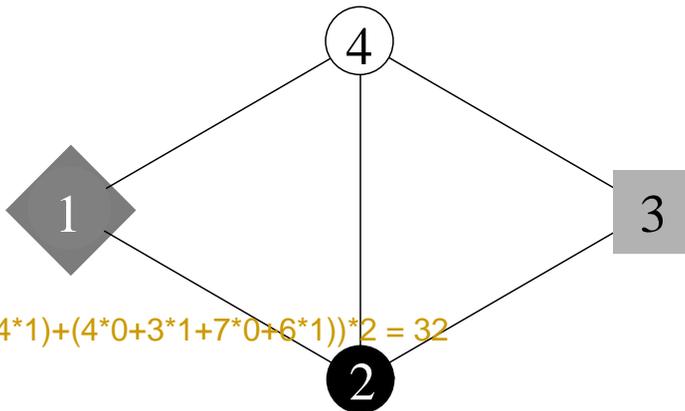
Configuration 2

Single purpose:

$$((7*0+6*1+3*1+4*0) + (4*0+3*1+7*1+6*0))*2 = 38$$

Multi-purpose:

$$11*0+9*2+10*2+10*0 = 38$$



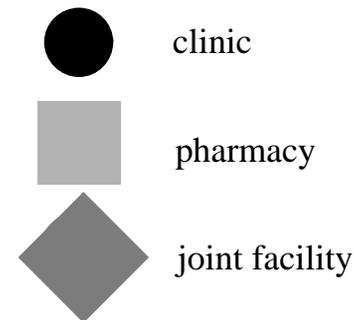
Configuration 3

Single purpose:

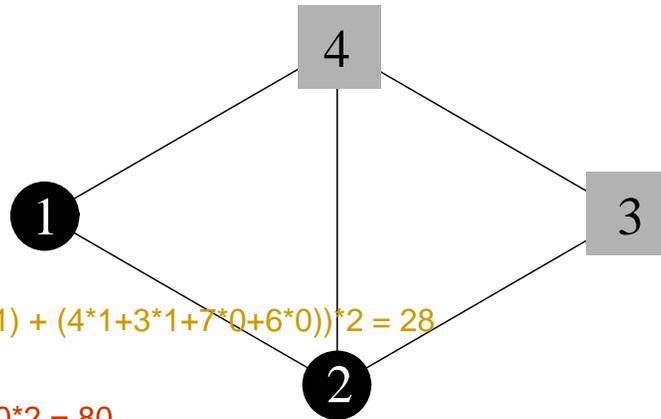
$$((7*0+6*0+3*1+4*1)+(4*0+3*1+7*0+6*1))*2 = 32$$

Multi-purpose:

$$11*0+9*2+10*2+10*2 = 58$$



Three facility configuration



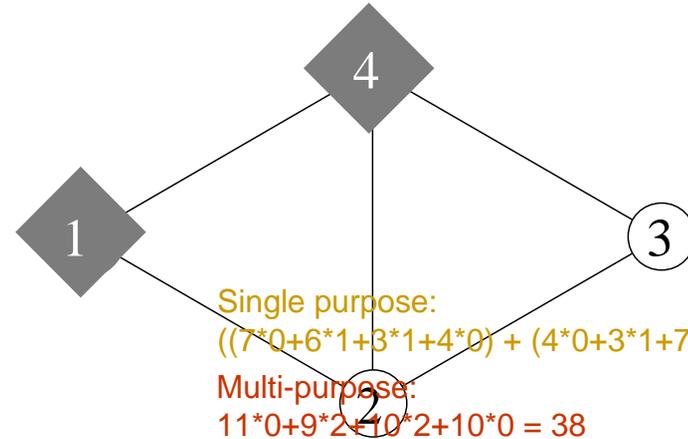
Single purpose:

$$((7*0+6*0+3*1+4*1) + (4*1+3*1+7*0+6*0))*2 = 28$$

Multi-purpose:

$$11*2+9*2+10*2+10*2 = 80$$

Configuration 1



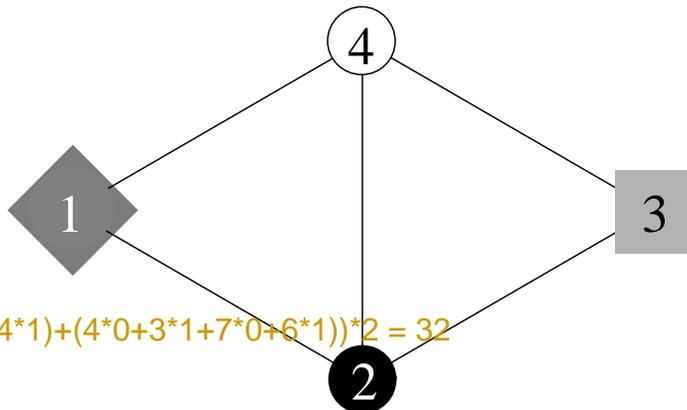
Single purpose:

$$((7*0+6*1+3*1+4*0) + (4*0+3*1+7*1+6*0))*2 = 38$$

Multi-purpose:

$$11*0+9*2+10*2+10*0 = 38$$

Configuration 2



Single purpose:

$$((7*0+6*0+3*1+4*1)+(4*0+3*1+7*0+6*1))*2 = 32$$

Multi-purpose:

$$11*0+9*2+10*2+10*2 = 58$$

Configuration 3

Suppose that 20% of demand is for multi-purpose trips and 80% for single-purpose trips.

Configurations 1, 2, and 3 have total travel distances of $28*0.8+80*0.2 = 38.4$, $38*0.8+38*0.2 = 38.0$, and $32*0.8+58*0.2 = 37.2$, respectively.

Configuration 3 is optimal for this mix of travel behavior.

The Mixed Travel Model Formulation

$$\min_{X_{ij}^A, X_{ik}^B, Y_{ij}^A, Y_{ik}^B} Z = 2 \left(\sum_i \sum_j w_i^A d_{ij} X_{ij}^A + \sum_i \sum_k w_i^B d_{ik} X_{ik}^B \right) + \sum_i w_i^{AB} \left(\sum_j d_{ij} Y_{ij}^A + \sum_k d_{ik} Y_{ik}^B + \sum_j \sum_k d_{jk} Y_{ij}^A Y_{ik}^B \right),$$

subject to

$$\begin{array}{l|l} \sum_j X_{ij}^A = 1, & \forall i, & \sum_j V_j^A = p_A, \\ \sum_k X_{ik}^B = 1, & \forall i, & \sum_k V_k^B = p_B, \\ \sum_j Y_{ij}^A = 1, & \forall i, & \\ \sum_k Y_{ik}^B = 1, & \forall i, & \\ X_{ij}^A \leq V_j^A, & \forall i, j, & \\ X_{ik}^B \leq V_k^B, & \forall i, k, & \\ Y_{ij}^A \leq V_j^A, & \forall i, j, & \\ Y_{ik}^B \leq V_k^B, & \forall i, k, & \end{array}$$

$X_{ij}^A \in \{0,1\}$	is the allocation of demand at i for type-A service to j .
$X_{ik}^B \in \{0,1\}$	is the allocation of demand at i for type-B service to k .
$Y_{ij}^A \in \{0,1\}$	is the allocation of multi-purpose demand at i to j for type-A service.
$Y_{ik}^B \in \{0,1\}$	is the allocation of multi-purpose demand at i to k for type-B service.
$V_j^A \in \{0,1\}$	is the facility existence at j for type-A service.
$V_k^B \in \{0,1\}$	is the facility existence at j for type-B service.
w_i^A	is the demand at i for type-A service.
w_i^B	is the demand at i for type-B service.
w_i^{AB}	is the demand at i both for type-A and for type-B services.
d_{ij}	is the distance from i to j .
p_A	is the number of type-A facilities to be located.
p_B	is the number of type-B facilities to be located.
Z	is the aggregate weighted travel distance.

The Mixed Travel Model Formulation

linearization

$$\min_{X_{ij}^A, X_{ik}^B, Y_{ij}^A, Y_{ik}^B, U_{ij}} Z = 2 \left(\sum_i \sum_j w_i^A d_{ij} X_{ij}^A + \sum_i \sum_k w_i^B d_{ik} X_{ik}^B \right) + \sum_i w_i^{AB} \left(\sum_j d_{ij} Y_{ij}^A + \sum_k d_{ik} Y_{ik}^B + \sum_j U_{ij} \right),$$

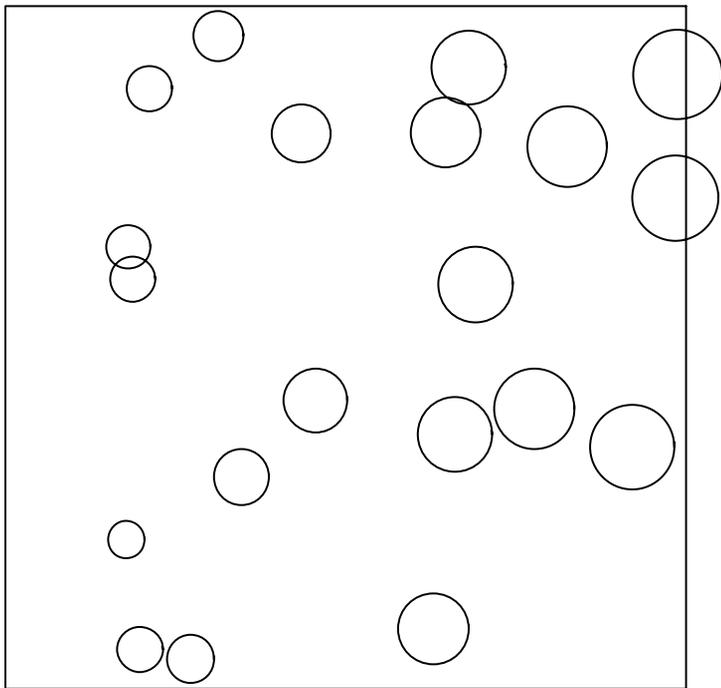
$$\text{subject to } \begin{array}{l|l} \sum_j X_{ij}^A = 1, & \forall i, & \sum_j V_j^A = p_A, \\ \sum_k X_{ik}^B = 1, & \forall i, & \sum_k V_k^B = p_B, \\ \sum_j Y_{ij}^A = 1, & \forall i, & \\ \sum_k Y_{ik}^B = 1, & \forall i, & \\ X_{ij}^A \leq V_j^A, & \forall i, j, & \\ X_{ik}^B \leq V_k^B, & \forall i, k, & \\ Y_{ij}^A \leq V_j^A, & \forall i, j, & \\ Y_{ik}^B \leq V_k^B, & \forall i, k, & \end{array}$$

$$0 \leq U_{ij} \leq Y_{ij}^A \sum_k d_{jk}, \quad \forall i, j,$$

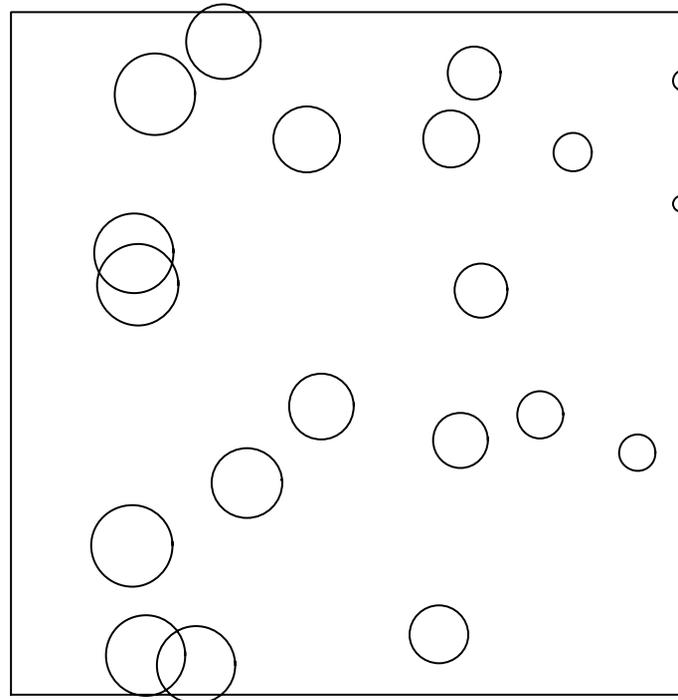
$$0 \leq \sum_k d_{jk} Y_{ik}^B - U_{ij} \leq (1 - Y_{ij}^A) \sum_k d_{jk}, \quad \forall i, j.$$

$X_{ij}^A \in \{0,1\}$	is the allocation of demand at i for type-A service to j .
$X_{ik}^B \in \{0,1\}$	is the allocation of demand at i for type-B service to k .
$Y_{ij}^A \in \{0,1\}$	is the allocation of multi-purpose demand at i to j for type-A service.
$Y_{ik}^B \in \{0,1\}$	is the allocation of multi-purpose demand at i to k for type-B service.
$V_j^A \in \{0,1\}$	is the facility existence at j for type-A service.
$V_k^B \in \{0,1\}$	is the facility existence at j for type-B service.
w_i^A	is the demand at i for type-A service.
w_i^B	is the demand at i for type-B service.
w_i^{AB}	is the demand at i both for type-A and for type-B services.
d_{ij}	is the distance from i to j .
p_A	is the number of type-A facilities to be located.
p_B	is the number of type-B facilities to be located.
Z	is the aggregate weighted travel distance.

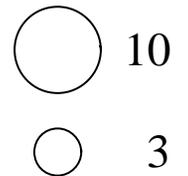
A 20-node test problem



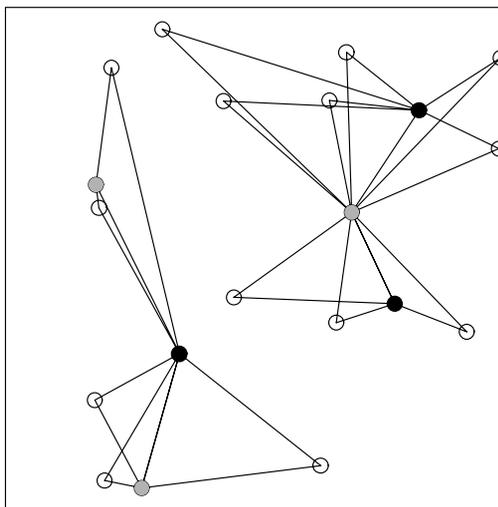
type-A



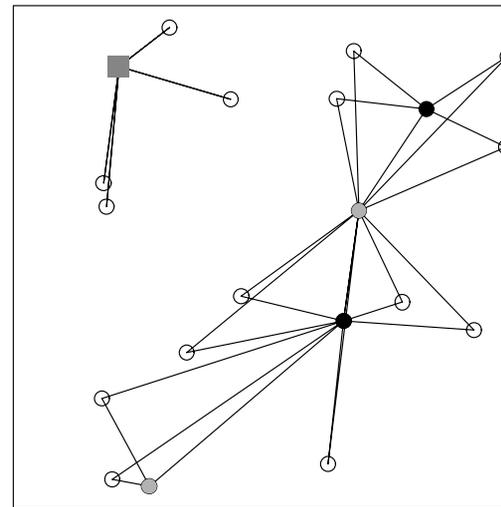
type-B



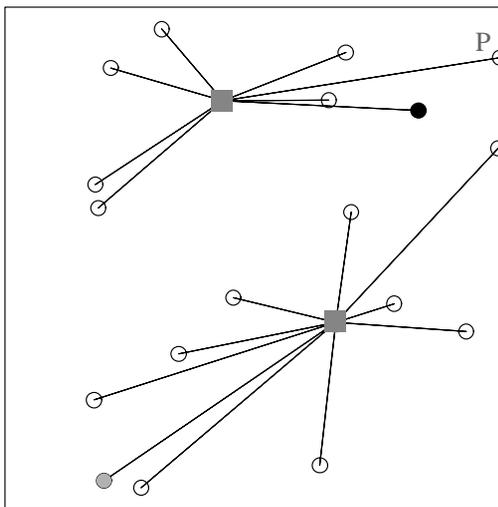
All distinct optimal solutions:
 $p_A=3, p_B=3$



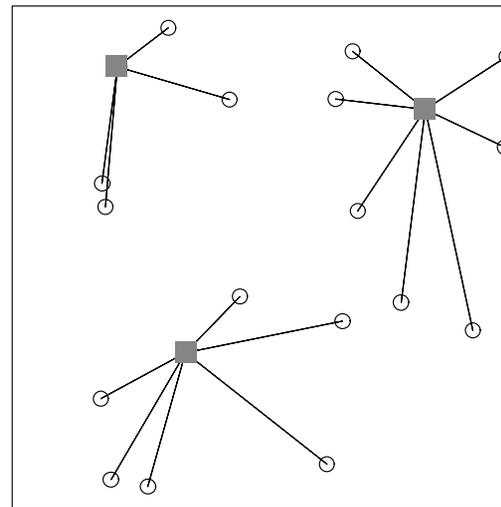
(a) $r = 0.0000-0.0464$



(b) $r = 0.0464-0.0905$



(c) $r = 0.0905-0.2091$



(d) $r = 0.2091-1.0000$

keeping the sum $w_i^A + w_i^B + w_i^{AB}$,
 and the ratio w_i^A / w_i^B fixed,
 and increase the proportion of multi-purpose users,
 $r = w_i^{AB} / (w_i^A + w_i^B + w_i^{AB})$ from zero to one

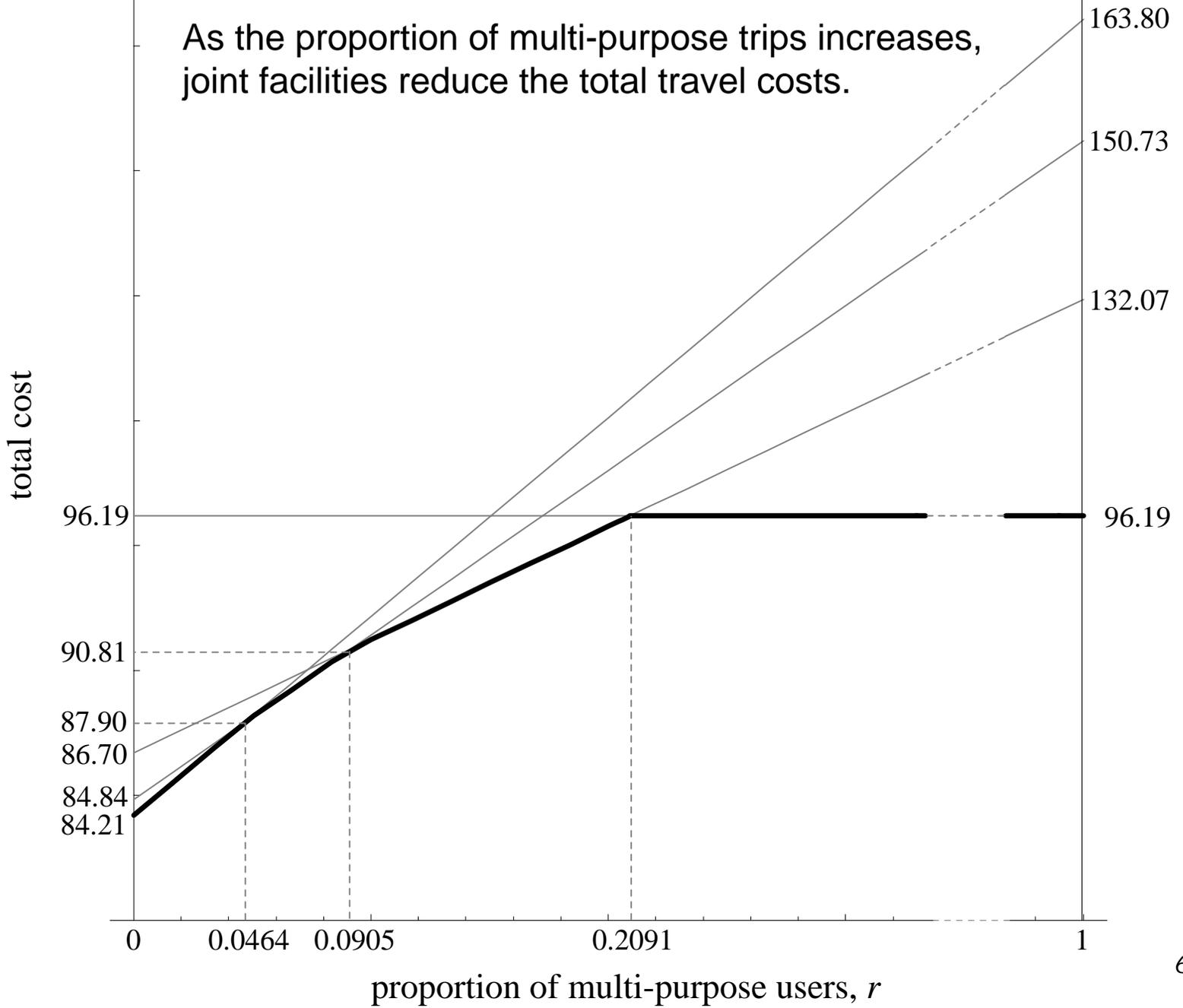
- type-A facility
- type-B facility
- joint facility
- allocation of multi-purpose users

Solution statistics for example 1

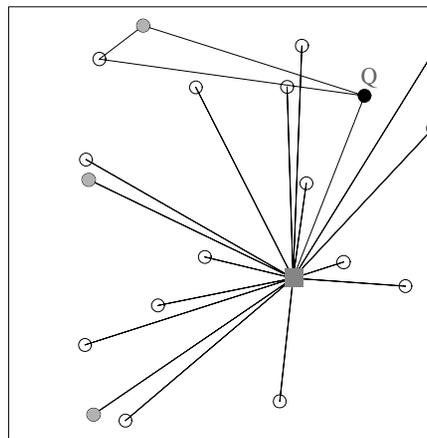
Proportion of multi- purpose users, r	Demand weighted TD			Travel distance (TD)					
	Single- purpose users	Multi- purpose users	Total	Single-purpose users			Multi-purpose users		
				Type-A	Type-B	Total	Home to facility	Inter- facility	Total
0.0000	84.21	0.00	84.21	45.34	38.87	84.21	105.63	58.17	163.80
0.0464	80.91	6.99	87.90	45.94	38.90	84.84	103.02	47.72	150.73
0.0905	78.86	11.95	90.81	46.08	40.62	86.70	132.07	0.00	132.07
0.2091	76.08	20.11	96.19	52.88	43.31	96.19	96.19	0.00	96.19



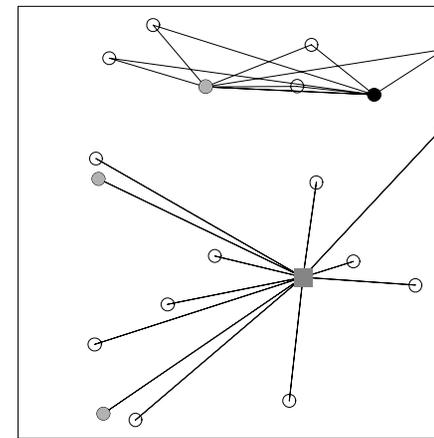
As the proportion of multi-purpose trips increases, joint facilities reduce the total travel costs.



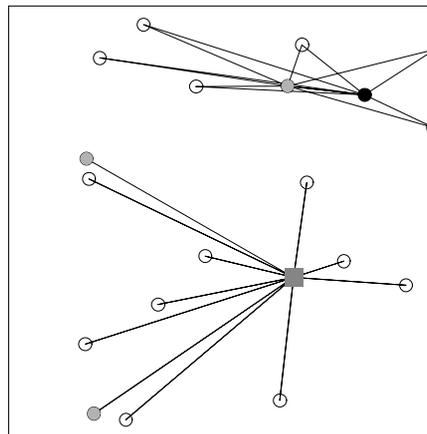
All distinct optimal solutions:
 $p_A=2, p_B=4$



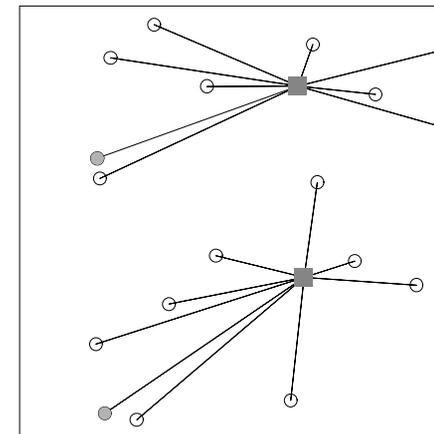
(a) $r = 0.0000-0.0062$



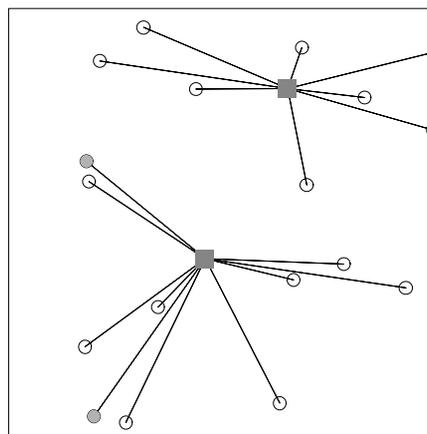
(b) $r = 0.0062-0.0244$



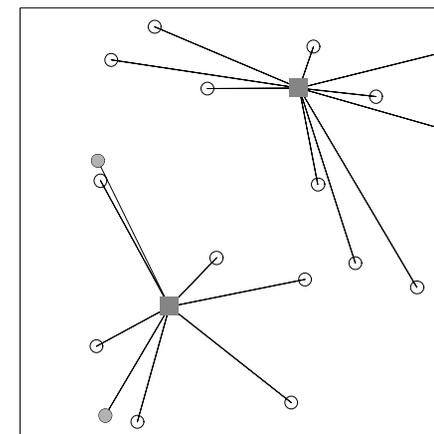
(c) $r = 0.0244-0.0931$



(d) $r = 0.0931-0.4063$



(e) $r = 0.4063-0.5555$



(f) $r = 0.5555-1.0000$

keeping the sum $w_i^A + w_i^B + w_i^{AB}$,
 and the ratio w_i^A / w_i^B fixed,
 and increase the proportion of multi-purpose users,
 $r = w_i^{AB} / (w_i^A + w_i^B + w_i^{AB})$ from zero to one

Solution statistics for example 2

Proportion of multi-purpose users, r	Demand weighted TD			Travel distance (TD)					
	Single-purpose users	Multi-purpose users	Total	Single-purpose users			Multi-purpose users		
				Type-A	Type-B	Total	Home to facility	Inter-facility	Total
0.0000	86.93	0.00	86.93	56.56	30.36	86.93	166.67	17.00	183.67
0.0062	86.44	1.09	87.53	56.56	30.41	86.98	145.05	30.20	175.25
0.0244	85.37	3.77	89.13	56.56	30.94	87.50	132.37	21.88	154.25
0.0931	81.28	12.44	93.72	58.69	30.94	89.63	133.55	0.00	133.55
0.4063	56.18	51.29	107.47	63.39	31.23	94.62	126.26	0.00	126.26
0.5555	43.84	68.35	112.19	66.09	32.53	98.62	123.05	0.00	123.05

救急車同士のcolocation

- 最近隣の救急車が出場中の場合
 - k 次近隣施設利用 ← 近くの救急車が応援
 - 救急車両の複数配備

3. 最近隣施設選択仮定を緩和した分散型施設配置モデル

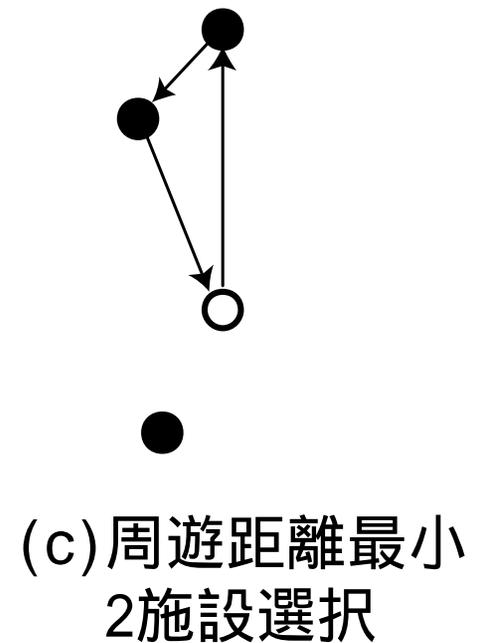
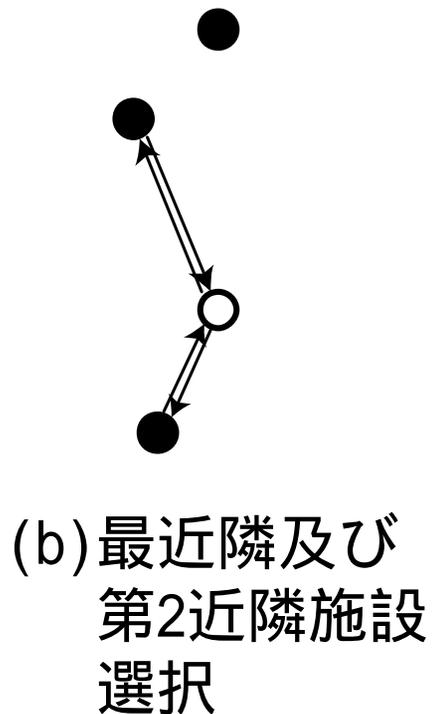
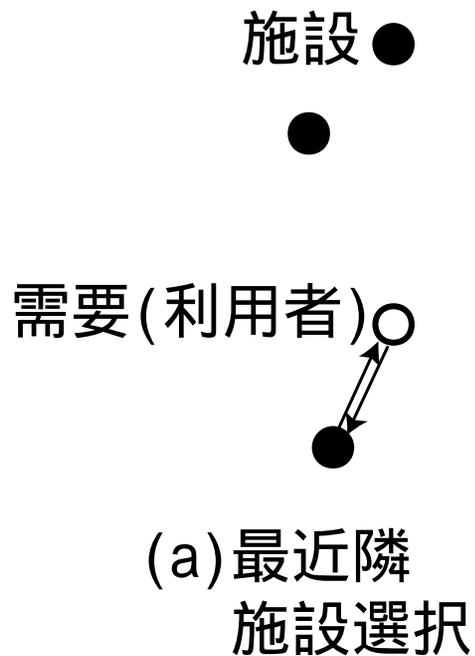
■ 最近隣施設選択仮定の緩和

- 遠い施設の方が魅力的である
- 利用可能な時間に最近隣の施設が開いていない
- 病院と調剤薬局のように通常一連の訪問を同時に行う

■ 緩和によって最適解がどのような影響を受けるか

- 最適解の施設配置にクラスターの形成をもたらす
- 同種施設のcolocation

施設選択の類型



p -medianモデル

$$\min_{X_{ij}} \quad Z = \sum_i \sum_j w_i d_{ij} X_{ij},$$

subject to $\sum_j X_{ij} = 1, \quad \forall i,$

$$X_{ij} \leq X_{jj}, \quad \forall i, j,$$

$$\sum_j X_{jj} = p$$

$X_{ij} \in \{0,1\}$: ノード i における
需要の候補地 j への配分

w_i : ノード i における需要
 d_{ij} : ノード i から ノード j までの
距離 ($d_{ij} \geq 0$)

p : 施設数

Z : 総移動距離

2次p-medianモデル

$$\min_{X_{ij}} \quad Z = \sum_i \sum_j w_i d_{ij} X_{ij},$$

subject to

$$\sum_j X_{ij} = 2, \quad \forall i$$

$$X_{ij} \leq X_{jj}, \quad \forall i, j,$$

$$\sum_j X_{jj} = p$$

$X_{ij} \in \{0,1\}$: ノード*i*における
需要の候補地*j*への配分

w_i : ノード*i*における需要
 d_{ij} : ノード*i*からノード*j*までの
距離 ($d_{ij} \geq 0$)

p : 施設数

Z : 総移動距離

k 次 p -medianモデル

$$\min_{X_{ij}} \quad Z = \sum_i \sum_j w_i d_{ij} X_{ij},$$

subject to

$$\sum_j X_{ij} = k, \quad \forall i$$

$$X_{ij} \leq X_{jj}, \quad \forall i, j,$$

$$\sum_j X_{jj} = p$$

$X_{ij} \in \{0,1\}$: ノード i における
需要の候補地 j への配分

w_i : ノード i における需要
 d_{ij} : ノード i からノード j までの
距離 ($d_{ij} \geq 0$)

p : 施設数

Z : 総移動距離

周遊2次p-medianモデル

$$\min_{X_{ij}} Z = \sum_i \sum_j w_i d_{ij} X_{ij} + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \sum_l w_i d_{jl} X_{ij} X_{il}$$

subject to

$$\sum_j X_{ij} = 2, \quad \forall i$$

$$X_{ij} \leq X_{jj}, \quad \forall i, j,$$

$$\sum_j X_{jj} = p$$

$X_{ij} \in \{0,1\}$: ノード*i*における
需要の候補地*j*への配分

w_i : ノード*i*における需要
 d_{ij} : ノード*i*からノード*j*までの
距離 ($d_{ij} \geq 0$)

p : 施設数

Z : 総移動距離

周遊2次p-medianモデルの線形化

線形混合0-1計画問題

$$\min_{X_{ij}, U_{ij}} Z = \sum_i \sum_j w_i d_{ij} X_{ij} + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j w_i U_{ij}$$

subject to

$$\sum_j X_{ij} = 2, \quad \forall i$$
$$X_{ij} \leq X_{jj}, \quad \forall i, j,$$
$$\sum_j X_{jj} = p$$

$X_{ij} \in \{0,1\}$: ノード*i*における
需要の候補地*j*への配分

w_i : ノード*i*における需要
 d_{ij} : ノード*i*からノード*j*までの
距離 ($d_{ij} \geq 0$)

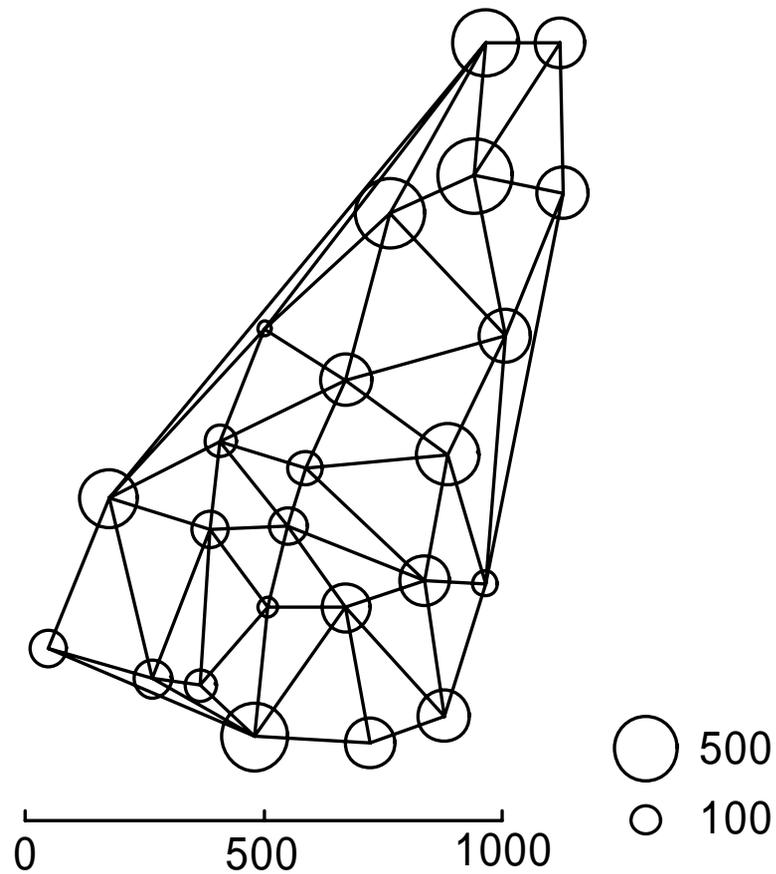
p : 施設数

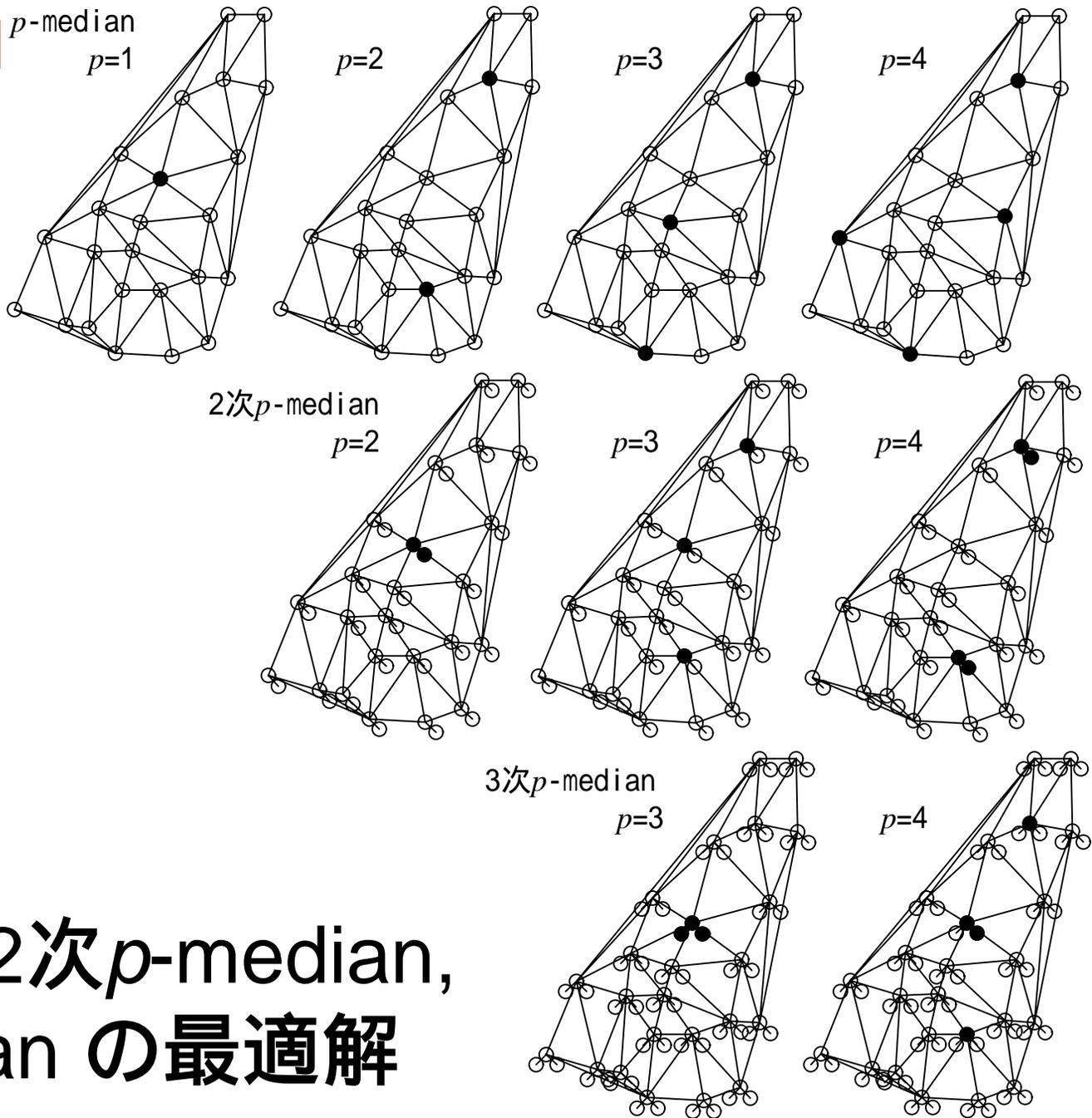
Z : 総移動距離

$$0 \leq U_{ij} \leq \sum_l d_{jl} \cdot X_{il}, \quad \forall i, j,$$

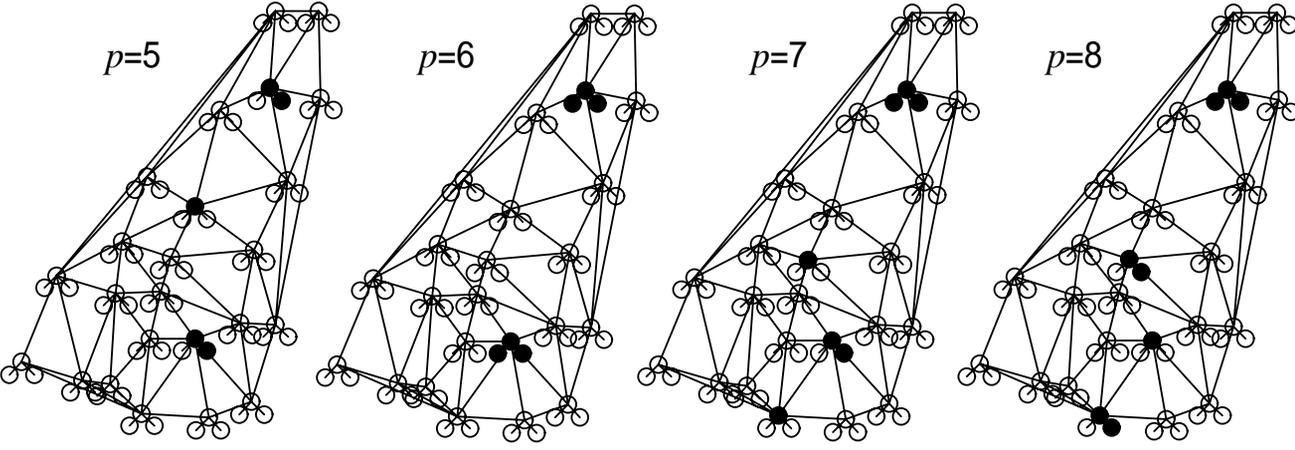
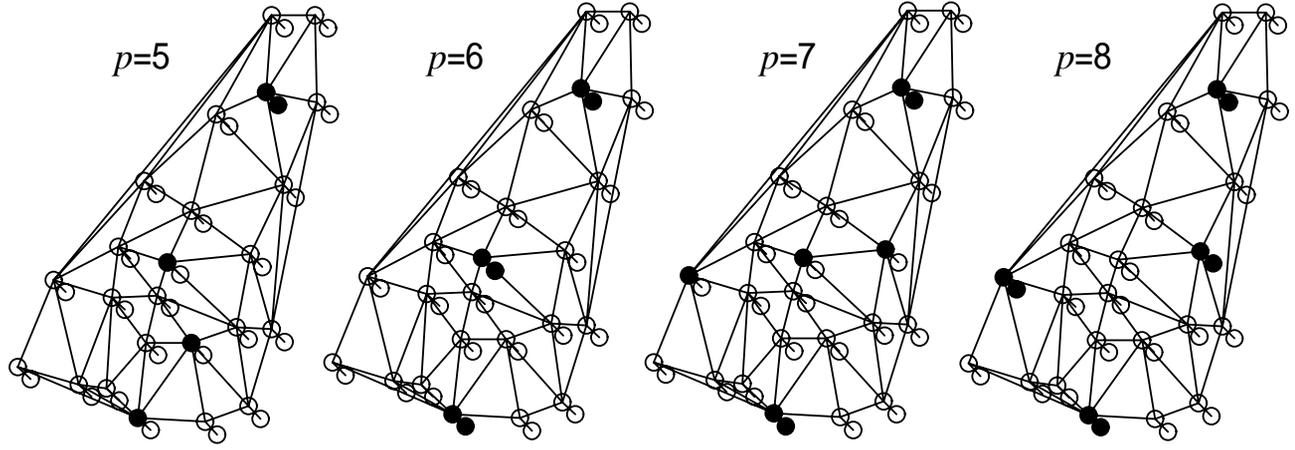
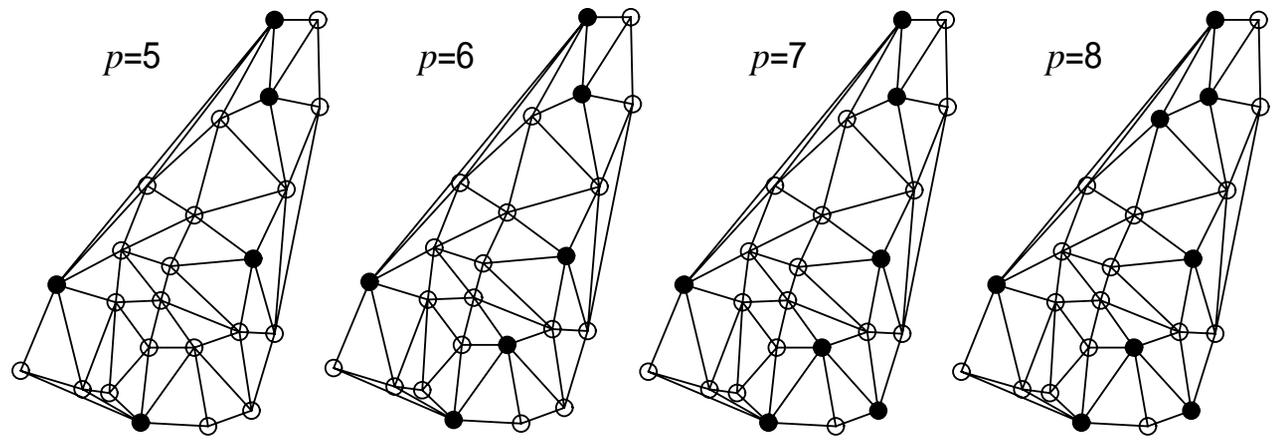
$$0 \leq \sum_l d_{jl} X_{il} - U_{ij} \leq \sum_l d_{jl} \cdot (1 - X_{ij}), \quad \forall i, j$$

対象ネットワークと需要分布



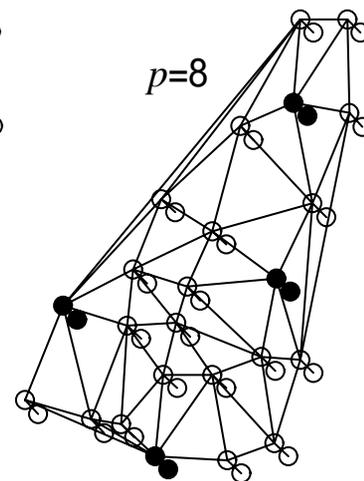
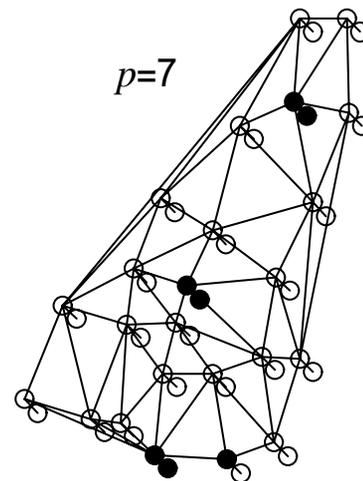
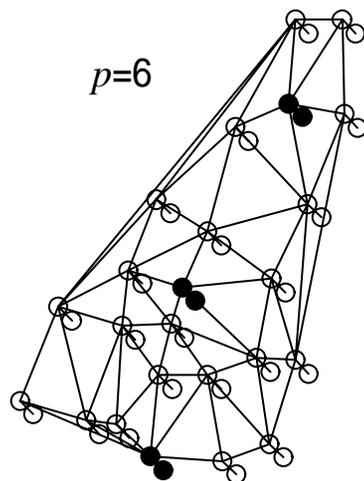
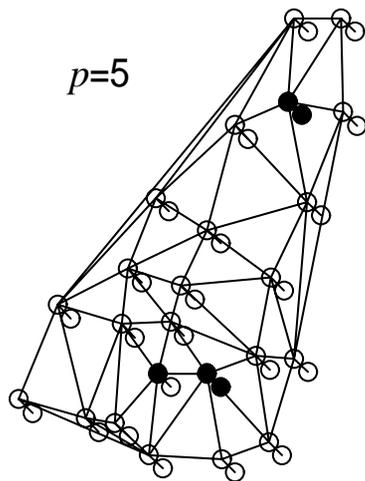
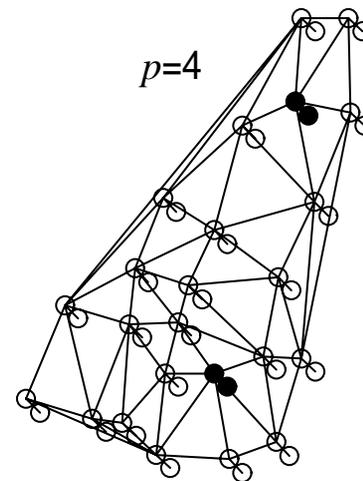
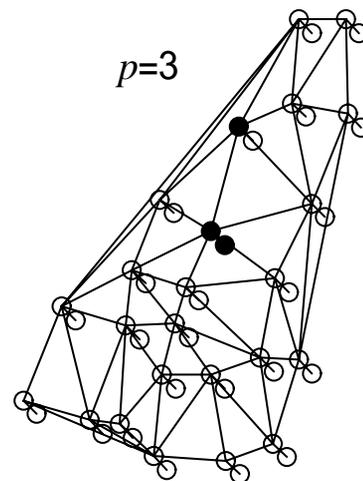
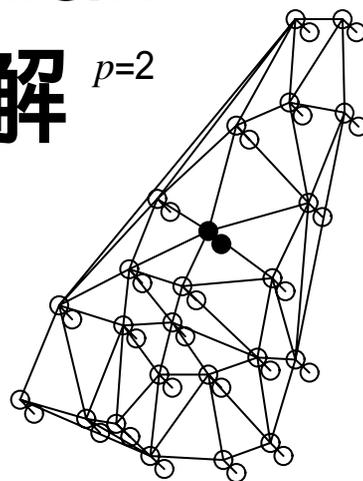


p -median, 2次 p -median,
3次 p -median の最適解



p -median, 2
3次 p -media

周遊2次 p -median モデルの最適解



p -median · 2次 p -median混合モデル

$$\min_{X_{ij}, Y_{ij}} Z = (1 - \alpha) \sum_i \sum_j w_i d_{ij} X_{ij} + \alpha \sum_i \sum_j w_i d_{ij} Y_{ij},$$

$$\sum_j X_{ij} = 1, \quad \forall i,$$

$$X_{ij} \leq X_{jj}, \quad \forall i, j,$$

$$\sum_j X_{jj} = p,$$

$$\sum_j Y_{ij} = 2, \quad \forall i,$$

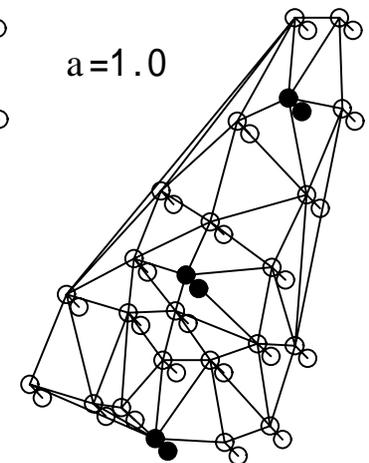
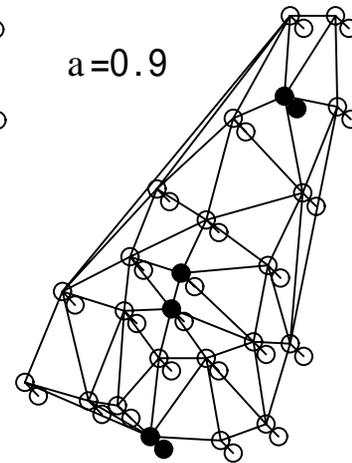
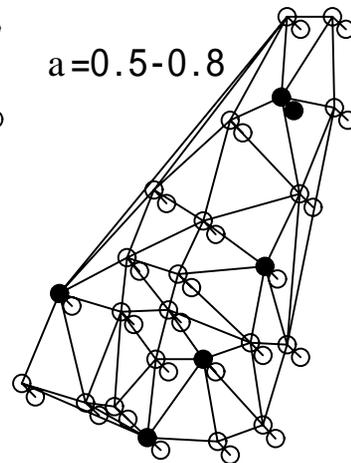
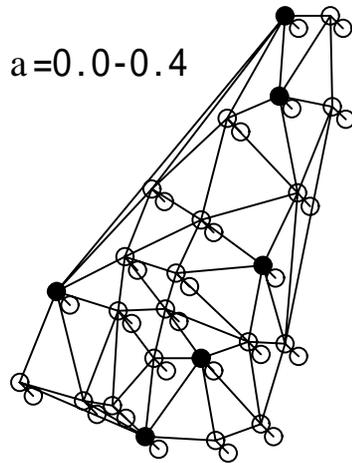
$$Y_{ij} \leq Y_{jj}, \quad \forall i, j,$$

$$X_{jj} = Y_{jj}, \quad \forall j.$$

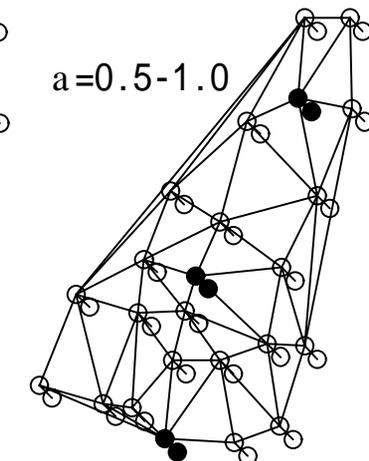
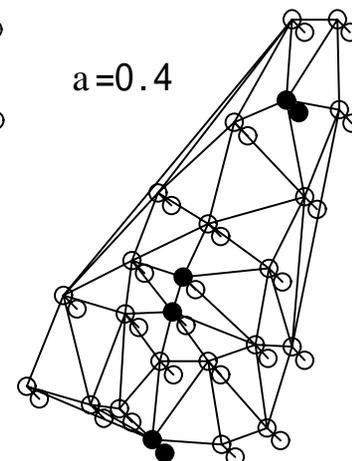
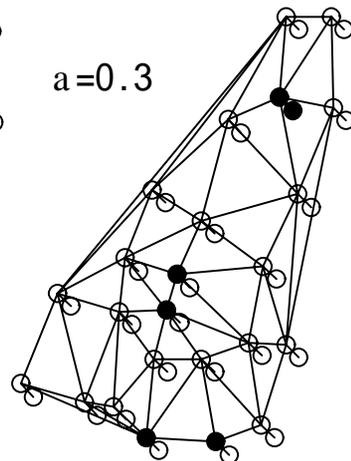
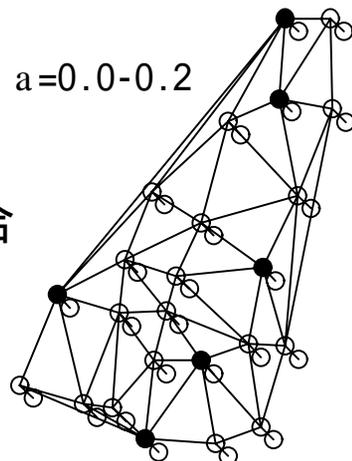
α : 2次の重み ($0 \leq \alpha \leq 1$)

2次のウェイトと混合問題の最適配置 の関係($p=6$)

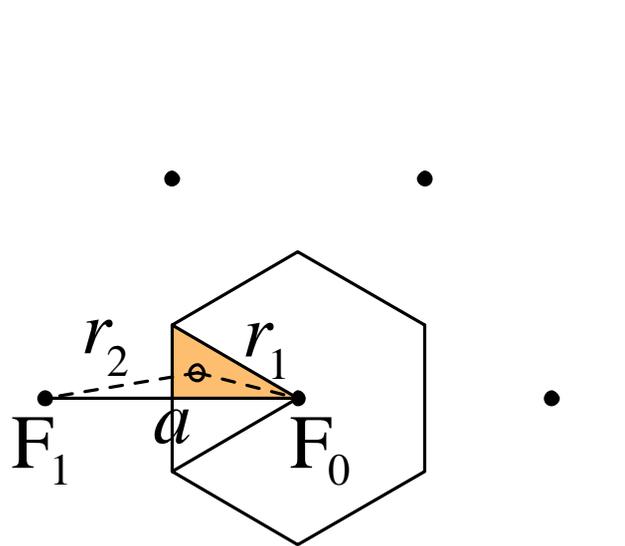
2次混合



周遊2次混合



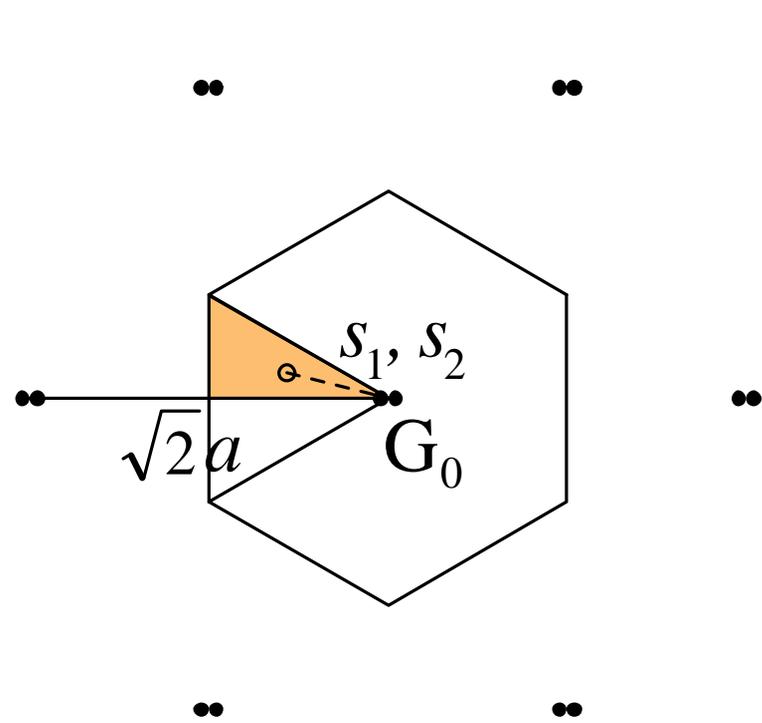
連続平面上における三角格子点状の 単独配置とペア配置 (同一施設密度)



$$E[r_1] = \frac{4\sqrt{3} + 3\sqrt{3} \log 3}{36} a \approx 0.351a$$

$$E[r_2] = \frac{18 - 4\sqrt{3} + 3\sqrt{3} \log(2 + \sqrt{3}) - 3\sqrt{3} \log 3}{18} a$$

$$\approx 0.678a$$

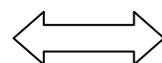


$$E[s_1] = E[s_2] = \sqrt{2}E[r_1] \approx 0.496a$$

遷移点

■ 2次混合の場合

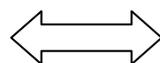
$$E[(1 - \alpha)r_1 + \alpha(r_1 + r_2)] = E[(1 - \alpha)s_1 + \alpha(s_1 + s_2)]$$



$$\alpha \approx 0.800$$

■ 周遊2次混合の場合

$$E[(1 - \alpha)2r_1 + \alpha(1 + r_1 + r_2)] = E[(1 - \alpha)2s_1 + \alpha(s_1 + s_2)]$$



$$\alpha \approx 0.219$$

救急にまつわる課題

配置

- 再配置, 増設
 - 救急車
 - 消防車両活用
 - 病院救急車の活用

- トリアージ
 - 負傷者を重症度、緊急度などによる分類
 - 治療や搬送の優先順位の決定
 - 判別方法
- 情報システム 連絡, 画像転送
- 応援
- 市町村合併
- ドクターヘリ 僻地対策
- ドクターカー 医師同乗
- 交通対策 走行速度, 信号

システム

利用者

- 適正利用
 - タクシー代わり
 - PR

- プレホスピタルケア
- 一次病院不足 地域医療
- 小児救急
- 医師不足 たらい回し

医療