ＤＡアルゴリズムを使った救急隊員と病院の優先順序付き１対多マッチングについて

横須賀市立横須賀総合高等学校　コンピュータ部　２年　大月　誉貴

開発の経緯

高校１年時に自宅の事故で救急搬送された際、救急車の到着後搬送先が決まるまで 30 分以上を要した。地元の横須賀市消防局が公表している「消防年報（令和５年版）」においても、令和４年の救急車到着から病院収容までの平均所要時間は 33.8 分を要している（表２）。（参考：全国平均 36.9 分）病状が回復後、時間を要する原因を消防局に問い合わせたところ、以下の問題が判明した。またヒアリングを進める中で救急隊員は凄惨な現場に立会うストレスに加え搬送先が決まらない焦りが重なりメンタルが疲弊してる事実を知った。以上の現状から救急隊員の負担を軽減するため自分に何かできないか考えた結果、救急隊員（患者）と病院双方が納得する結果を導き出し加えて搬送時間を短縮するシステムの開発を思い立った。

（救急搬送に関する問題）

１．救急出動件数の増加（表１）
　令和４年は平成 25 年と比較すると 1.2 倍。

２．現場到着時間と病院収容時間の延伸（表２）
　・出動件数増加により現場到着時間が延伸。
　・救急隊員が病院と個別交渉で搬送先を決めるため病院収容時間が延伸。

３．搬送数と空病床の全体把握ができない
　消防局が搬送数と空病床数を一元管理していないため全体把握ができない。

４．患者が必要とする病院に搬送されない（表３）
　軽症者の割合が 45%と高く傷病程度と必要な病院のマッチングが難しい。
　大病院は重症者を希望するが軽症者が搬送される等病院側が不満を持つ。

過去 10 年間の救急出動件数　（表１）　（単位：件）

H25	H26	H27	H28	H29	H30	R 元	R2	R3	R4
23,129	22,696	22,960	23,004	26,956	27,865	27,598	24,307	24,947	28,044

過去５年間の救急関係所要時間（表２）　（単位：分）

	H30	R 元	R2	R3	R4
現場到着平均所要時間　A	7.8	7.7	7.2	7.3	8.0
病院収容平均時間　B	40.4	40.2	38.9	38.9	41.8
現場到着から病院収容時間　B-A	32.6	32.5	31.7	31.6	33.8

傷病程度別搬送人数割合(表３)

	死亡	重症	中等症	軽症	その他	合計
人数（人）	381	1,448	11,672	11,036	80	24,617
割合（%）	1.5	5.9	47.4	44.9	0.3	100

出典：令和５年版　横須賀市消防局　消防年報　抜粋一部加工

システム構築方法の検討

システム構築する際に採用するアルゴリズムについて、ゲーム理論の応用分野であるマッチング理論のうち、仮受け入れを繰返し最適なマッチングを導き出す DA（(Deferred Acceptance）アルゴリズム（以下、DA）を軸に他の方法と比較検討した。

（検討１）AI との比較

DA は結果を導き出す過程が明確であるが、AI は判断根拠がブラックボックス化されているため救急隊員（患者）、病院双方が結果に納得できない可能性がある。また学習データの内容によりバイアスがかかる可能性がある。救急現場では判断の透明性が重要であるため DA が望ましい。

（検討２）TTC（Top Trading Cycle）との比較

DA は安定性（他の選択肢を考える必要がない状態）と耐戦略性（本当の希望を隠しても得をしない状態）を満たすが、TTC は効率性（自分の希望を最大限反映する）と耐戦略性を満たすアルゴリズムである。

救急現場では個人の希望よりも全体最適が重要であるため DA が望ましい。

検討の結果、救急隊員（患者）と病院双方が後で不満を持たないことが重要であると考え DA を採用する。システム開発は Python で行う。

消防局へのプレゼンテーション

消防局に依頼し、DA を用いた救急隊員（患者）と病院双方が納得できるマッチングについて、動作イメージと Python の開発環境のプレゼンテーションをさせていただいた。

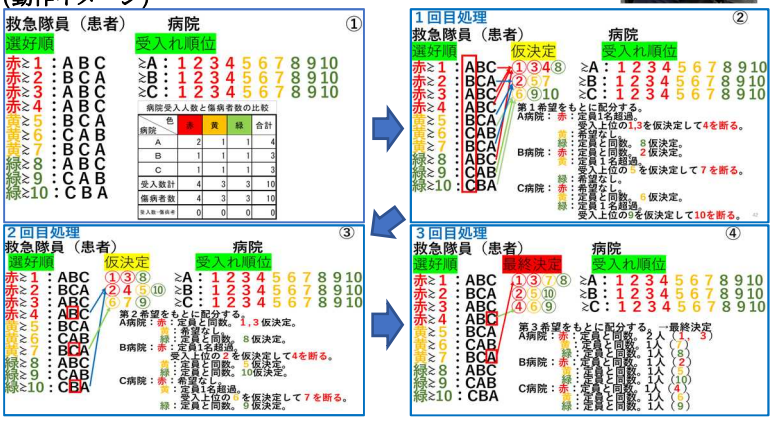
消防局からは、「救急隊員は生体情報等複数の要素を勘案して病院を選定しており、同様の作業をシステムで代替えすることは緊急を要する現場では入力に時間がかかり困難である。しかし、多数の傷病者が発生した場合のトリアージにおいては生体情報等の収集を限定的にするため、入力項目を簡潔にしたシステムであれば提案内容を生かせる。」とご指摘いただいた。ご指摘を踏まえ GUI で入力可能な Python をベースとしたトリアージ発生時のマッチングシステムを開発した。

システム設定条件と動作イメージ

【プレゼンテーションの様子】

(条件)①患者は 10 人。救急隊員は患者を赤（重篤）、黄（重症）、緑（軽傷）に分け赤、黄、緑の順で受付順に附番する。
　また、患者毎に病院の選好を持つ。
②病院は A,B,C の３病院。受入順位は全病院赤→黄→緑で番号の若い順から受入る統一ルール。各病院受入人数に制限有。
③配分→仮決定→再配分を繰返し最適なマッチングを実現。

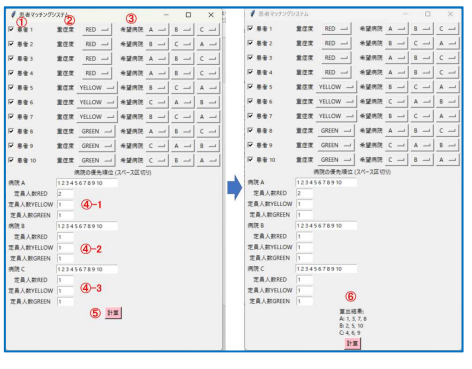
(動作イメージ)



プログラムの説明

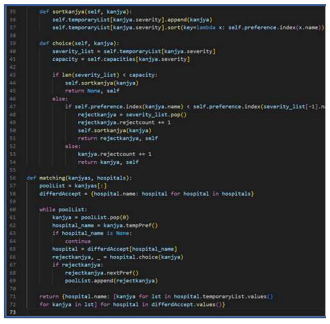
入力画面(GUI)

Tkinterを用いた入力画面(GUI)に、
①患者数
（チェック欄）
②重症度
③希望病院
④各病院の色毎の
受入人数を入力し、
⑤計算ボタンを押すと
⑥算出結果
が表示される。

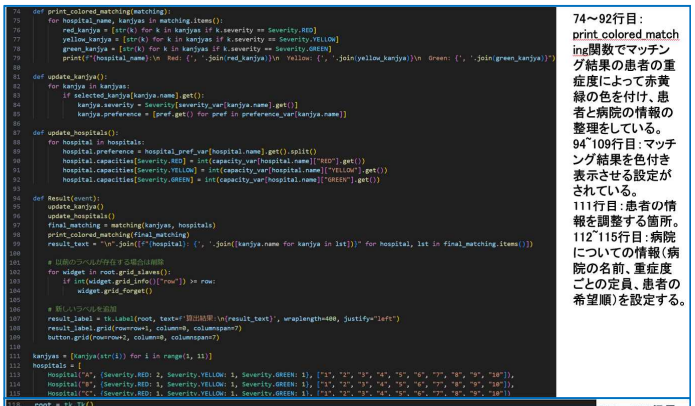


プログラム

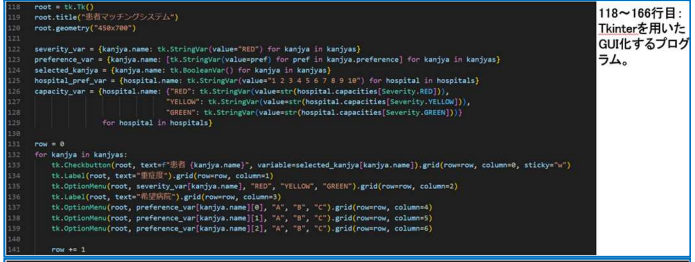
1～4行目：システムに必要なモジュールのインポートや変数の初期設定をしている。
5～9行目：患者の重症度を表す定義Severityを設定している。重症度は上から赤黄緑の順で123と順位をつけ赤の1が最も重症度が高い。
10~26行目：Kanjyaクラスで患者についての情報（患者の名前、病院の希望順、重症度）を整理し、仮の病院決定の結果の判定、また重症度によって色も設定している。
28～54行目：Hospitalクラスで病院についての情報（病の名院前、重症度ごとの定員、患者の希望順）を整理し、重症度に基づいて患者を仮の患者リストに追加し、また追加する際に、定員が満たされていない場合は患者を仮リストに追加し、満たされている場合は希望順に基づいて既存の患者と比較して仮リストに追加をするか判断する。



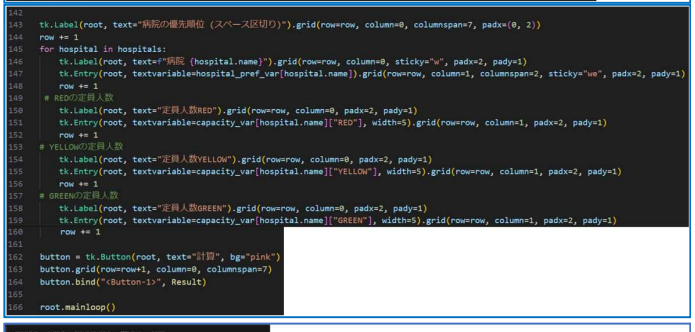
56～72行目：matching関数で患者と病院のマッチングを行う。
まず患者のリストをコピーし、一時的に使用するプールリストを作成する。次にプールリストに入っている患者の情報を、各患者の希望順に病院へ割り当てる。病院側から拒否された患者は再びプールリストへ戻り次の希望順の病院を割り当てる。この作業を繰り返し、最終的にマッチング結果を算出する。

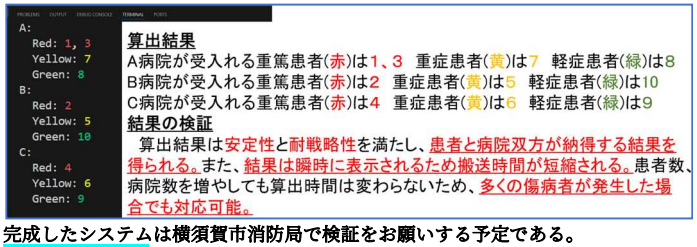


74～92行目：print_colored_matchingは関数でマッチング結果の患者の重症度によって赤黄緑の色を付け、患者と病院の情報の整理をしている。
94~109行目：マッチング結果を色付き表示させる設定がされている。
111行目：患者の情報を調整する箇所。
112~115行目：病院についての情報(病院の名前、重症度ごとの定員、患者の希望順)を設定する。



118～166行目：Tkinterを用いたGUI化するプログラム。





算出結果

A病院が受入れる重篤患者(赤)は1、3　重症患者(黄)は7　軽症患者(緑)は8
B病院が受入れる重篤患者(赤)は2　重症患者(黄)は5　軽症患者(緑)は10
C病院が受入れる重篤患者(赤)は4　重症患者(黄)は6　軽症患者(緑)は9

結果の検証

算出結果は安定性と耐戦略性を満たし、患者と病院双方が納得する結果を得られる。また、結果は瞬時に表示されるため搬送時間が短縮される。患者数、病院数を増やしても算出時間は変わらないため、多くの傷病者が発生した場合でも対応可能。

完成したシステムは横須賀市消防局で検証をお願いする予定である。

課題と今後の展望

①システム設計時の設定を１セットの配分が完了後次の配分を行うとしたため、新規患者や空病床の増減をリアルタイムで反映できない。今後はリアルタイムで更新するアルゴリズムを研究しシステムを改善したい。
②本システムは災害時に様々な支援物資を複数の避難所に適正配付する作業に応用できる。今後は災害対策、情報セキュリティ、国際紛争等、様々な危機を実践的に学べる分野に進み、今回の研究を生かし課題解決に向けた研究を続けたい。

謝辞・参考文献今回のシステム作成にあたり、説明の機会を設けていただき、貴重なご意見をいただいた横須賀市消防局、電気通信大学岩崎教研究室の皆様に深く感謝申し上げます。

（参考文献）①安定マッチングの数理とアルゴリズム　宮崎修一著②ゲーム理論とマッチング　栗野盛光著③天才たちの未来予測図　小島武仁ほか著