

粒子線治療装置スケジューリングシステム

—治療順スケジュール—

浅見廣愛ⁱ⁾、佐藤裕幸ⁱ⁾、青山功ⁱ⁾、坂本豪信ⁱⁱ⁾、土谷昌晴ⁱⁱ⁾

i)三菱電機（株）情報技術総合研究所, ii)三菱電機（株）通信機製作所

4W-3

1 はじめに

粒子線治療装置スケジューリングシステムは、癌治療等に用いられる非常に高価な粒子線治療装置の稼働率を最大限に向上させることを目的に、患者の治療計画に沿った治療装置の効率的な運転スケジュールを自動立案するシステムである[1].

治療スケジュールの規模は100治療/日×数ヶ月と大規模であり、全ての治療の治療日時、使用治療室、使用加速器を1度に求めることは長時間を要し実用的でないと考えられる。そこで、本システムでは実用的な時間内にスケジュールを立案するために、全ての治療の治療日の決定(治療日スケジュール[2])と、詳細なスケジュールが必要な期間の各日の治療順の決定(治療順スケジュール)との2段階の立案を行う。

本稿では、2段階の立案のうち、治療順スケジュールの立案への遺伝的アルゴリズム(GA)の適用手法について報告する。

2 制約条件及び最適化条件

治療順スケジュールでは、治療日スケジュールによって決定された治療ごとの治療日のデータを受け取り、各日の加速器ごとの粒子種、エネルギー強度、ビームコースの切り替え順及び各治療室ごとの患者の順番を決定する。以下に、治療順スケジュールの制約条件、最適化条件を示す。

◆ 制約条件

1. 患者は治療可能な(対応ポートの存在する)治療室に割り当てる。

◆ 最適化条件

1. 1日の総治療時間を最小にする(加速器、治療室等の治療装置を効率的に運用する)。
2. できるだけ、患者の希望する治療時間帯へ割付ける。
3. 1日に複数回治療を受ける患者が連続照射指定されている場合は、それらの治療の間隔を最小にする。

粒子種、エネルギー等の切り替えには時間を要す

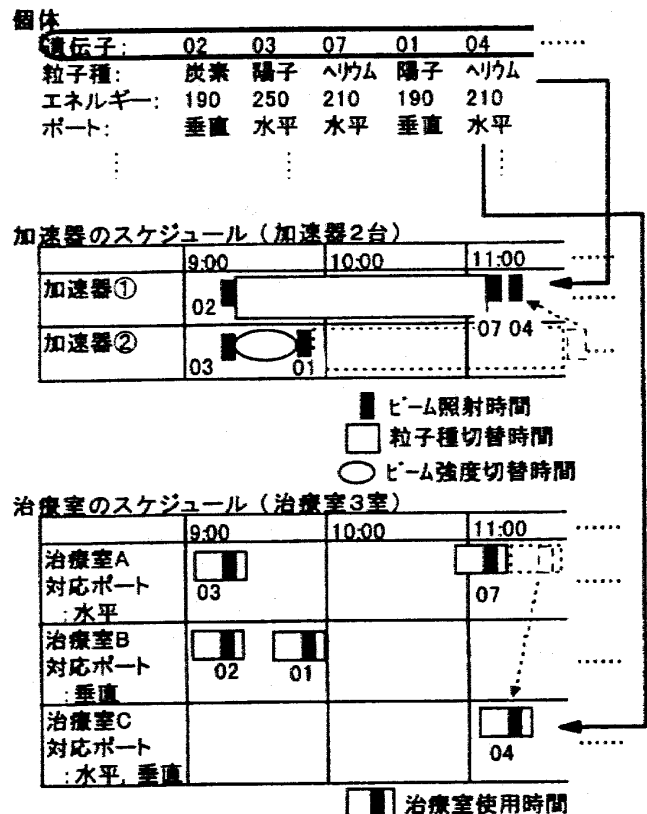


図1 個体から解への変換

るため、これらの時間が少ない方が効率的な運用となる。また、治療室の使用の際には患者の入れ替え時間や準備時間等が必要であり、各治療室を均等に使用した方がより効率的になる。

3 治療順スケジュールへのGAの適用

治療順スケジュールの立案においては、治療装置の効率的な運用と、患者の希望を両立させなければならない。また、治療期間内の複数の治療日のスケジュールを順次立案していく必要があるため、1治療日にかけられる立案時間も限られている。これらの制約を満たしてスケジュールを立案することは非常に困難である。

そこで、治療順スケジュールにある程度の質の解を高速に求めることができるGAを適用することにした。そのために、一つの治療を1単位と考え、1日に行われるすべての治療に1, 2, ..., n (nは治療

の数)と便宜上の治療番号を割り振る(治療順をあらわすものではない)。これらの治療番号を割付の優先順位を表す順序で一行に並べたものを1個体とする(図1)。

各個体を解(加速器のスケジュール及び治療室のスケジュール)に変換するには、その遺伝子を順次先頭から取り出し、その時点で最適になるような加速器、治療室に前詰めに割り当てる。この割り当ての際に最適とする条件は以下のものである。

- ① その時点で治療が最も早く始められる治療可能な加速器、治療室に割り付ける。
- ② ①の条件を満足する加速器が複数存在する場合、粒子種、エネルギー、ビームコースの変更の必要のない加速器に優先的に割り付ける。
- ③ ①の条件を満足する治療室が複数存在する場合、複数のポートを持つ治療室が混まないようにするために、より少ないポートを持つ治療室に優先的に割り振る。
- ④ ③の条件を満足する治療室が複数存在する場合、各治療室が均等に使用されるように割り付ける。

例えば、図1の治療04の場合、加速器①に割り付けると治療07の直後に治療開始となるが、加速器②に割り付けると治療01と粒子種が異なるため、01に粒子切替時間を加算した時刻に治療開始となり、加速器①のほうが早い。このため、治療04は加速器①に割り当てられることになる。

治療室の場合、治療04は対応ポートを考慮して治療室AかCに割り当てられる。Aに割り当てた場合、治療07に患者の入れ替えや治療準備時間を加算した時刻に治療開始になるが、Cに割り当てた場合、治療07の直後に治療開始となる。このため、治療04は治療室Cに割り当てられる。

各個体の適応度計算は、以上の方法で解に変換した結果から算出する。

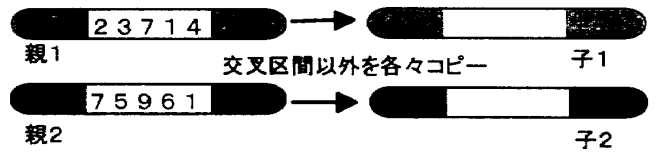
次に交叉、突然変異について述べる。

◆ 交叉

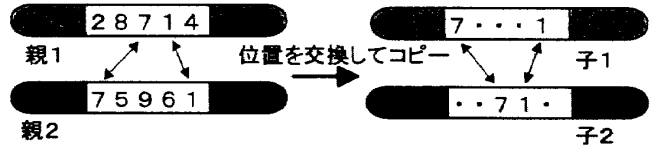
各個体に対し、単純に2点交叉等を行うと、1つの個体上である治療番号が喪失したり同一の治療番号が2つ存在するようになり、致死遺伝子が生じてしまう。そのため、交叉の前後で治療番号が各々1個になるように、以下のような交叉を2個体間で行うことにした[3](図2)。

- [Step1] 交叉点を2個所決め、その2点間を除いて子の染色体にコピーする。
- [Step2] 交叉対象区間に両親間で等しい遺伝子(重複している遺伝子)があれば位置を交換して子にコピーする。
- [Step3] 交叉対象区間の中で親の未使用遺伝子

[Step1]: 交叉区間以外のコピー



[Step2]: 交叉区間のコピー①



[Step3]: 交叉区間のコピー②

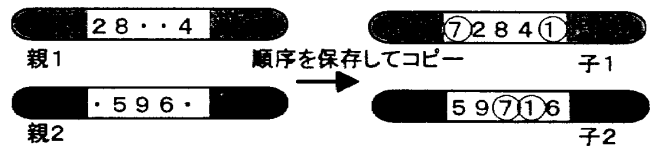


図2 2個体間の交叉

(重複していなかった遺伝子)の順序を保存して、対応する子の未決定部分へコピーする。

Step2の遺伝子の位置の交換は、実際の解においては、ある治療の(大体の)治療時刻を交換していることになる。また、Step3での遺伝子の順序の保存は、治療の順序を保存していることになる。したがって、Step2では患者の希望時間帯に着目した最適化、Step3では治療装置の運用の効率に着目した最適化に対応している。

◆ 突然変異

突然変異も致死遺伝子の発生を防ぐため、1体内の適当な2個所の遺伝子を入れ替えることにする。

4 おわりに

粒子線治療装置の治療順スケジュールへのGAの適用についての提案を行った。今後は、本手法の評価及び他手法との比較をなどを行う予定である。

参考文献

- [1] 佐藤裕幸, 青山功, 浅見廣愛, 中島克人, 坂本豪信, 土谷昌晴, 管靖則: 粒子線治療装置スケジュールリングシステム—システム概要—, 情報処理学会第56回全国大会, 4W-01, 1998-3.
- [2] 青山功, 佐藤裕幸, 浅見廣愛, 坂本豪信, 土谷昌晴: 粒子線治療装置スケジュールリングシステム—治療日スケジュール—, 情報処理学会第56回全国大会, 4W-02, 1998-3.
- [3] 平野広美: 応用事例でわかる遺伝的アルゴリズムプログラミング, パーソナルメディア株式会社, 1995.