



Title	放射線治療の情報処理
Author(s)	梅垣, 洋一郎; 松川, 収作; 作道, 元威 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1971, 31(6), p. 612-627
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17453
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

放射線治療の情報処理

国立がんセンター病院放射線診療部

梅垣洋一郎* 松川収作
作道元威 甘利弘子

The Radiotherapy Information Processing

Yoichiro Umegaki, M.D.* Shusaku Matsukawa, Mototake Sakudo and Hiroko Amari
Department of Radiology National Cancer Center Hospital

Research code No : 206

Key Word : Radiotherapy, Computer, Data processing
and Real time treatment planning

In order to make clear the target of discussion in this article, the topics discussed at "The Third International Conference on the Use of Computers in Radiotherapy, Glasgow, 1970" are reviewed at first. Next, author's experiences in this field at National Cancer Center Hospital are introduced and discussed in contrast with the review described, above. At present the small or medium sized dedicated computer system seems to be the most convenient system to manage the jobs in the radiotherapy department. The characteristics of three representative dedicated system now available, P.C., RAD-8 and Theracom I are surveyed. Theracom I, which was developed by the cooperation with National Cancer Center and Nippon Electric Co. has the best flexibility for the extension of data processing works. The hard and soft wares developed for the Theracom I system are to be introduced. They are used, at present, for routine clinical works at National Cancer Center. Most of treatment planning jobs are now processed on the real time basis. Medical data processing relating to the radiotherapy are also processed at the same time with the treatment planning. In future, the computerization should be directed to the automation of radiotherapy or the control of treatment machine and also to the decision making in the radiotherapy strategy.

*Present address: National Institute of Radiological Sciences

近年のコンピュータを中心とする情報処理技術は放射線医学殊に治療の領域においては比較的早く取り入れられ、既に実用の域に達している。現在世界各地の著名な癌治療センターでは殆ど全部といってよいくらいにコンピュータを利用している。放射線治療へのコンピュータ応用を主題とする国際会議は1965以来毎年1回以上行われており、会を重ねる毎に進歩の方向がはつきりと示さ

れるようになってきている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。最新の会議は1970年9月に Glasgow で開催せられた "Third International Conference on The Use of Computers in Radiation Therapy" ある。その会議の Working group の課題を表1に挙げる。現時点での放射線治療へのコンピュータ応用の問題点をほぼ網羅している。従つて本稿ではこれらの課題について行われた各グループの討論結果を先ず簡単に紹介し、次いで著者の経験をもとにした情報処理の実際について述べることにする。

* 現放射線医学総合研究所

Table 1. Topics discussed at Third International Conference on the Use of Computers in Radiation Therapy, Glasgow, 1970.

- 1) Dedicated and small computers in radiotherapy.
- 2) Time-sharing systems.
- 3) Data display systems.
- 4) Special problems of 3-D calculation and display.
- 5) Treatment strategy.
- 6) Radiobiology in relation to clinical radiotherapy.
- 7) Acquisition of anatomical data.
- 8) The problem of tissue heterogeneity.
- 9) Optimization-quantitative clinical parameters.
- 10) Optimization-mathematical techniques.
- 11) Technical criteria for acceptance of programs for networks.
- 12) Dissemination of Programs, needs and problems.
- 13) Exchange of information (including patient records), nationally and internationally.
- 14) Selection of data for collection.
- 15) Data input systems.
- 16) Recording techniques: coding systems v. plain language.
- 17) Growth points in radiotherapy.
- 18) Automatic control of treatment by closed-loop systems.
- 19) Automatic control of treatment by open-loop systems.
- 20) Automatic recording of treatment data.
- 21) Automation of treatment-interface and human problems.
- 22) Use and impact of computers in staff training.

1. 放射線治療へのコンピュータの応用その問題点

1. 1及び1, 2, 専用小型コンピュータと大型コンピュータのタイムシェアリング使用の問題
会議出席者の意見をまとめると次の通りであった。

- 1) 現状では専用小型コンピュータ(記憶容量8—12K語, 1語12ビット程度)の方がはるかに使い易く実用性が高い。
- 2) 専用コンピュータといつても全くの単能機(たとえば核医学データ処理装置のような固定プログラム方式のもの)でなく, 汎用性のあるものがよい。このことはことに治療患者の病歴情報を

処理するために大切である。

3) 小型コンピュータ使用上の難点は機械語でプログラムを書かねばならず, 従ってプログラムの互換性がないことである。今後高性能のコンパイラ(コンピュータ言語の翻訳装置)が実用化すればこの点は解決できよう。

4) 専用装置は小型といつても価格は高い。従って専用装置を購入できない施設はタイムシェアリングコンピュータを利用せざるを得ない。タイムシェアリング方式のコストは年々低下の傾向にあるので, 今後はより多く使用されるであろう。又専用装置は購入したら買い替えることがなかなか難しく時代遅れになる可能性がある。

5) オフライン, 一括処理で処理できる仕事は汎用コンピュータ, 乃至タイムシェアリングシステムで処理すればよい。又小型コンピュータの容量では処理できない高度の計算(現在の治療計画程度では殆どない)はタイムシェアリングシステムによることになる。

以上の結論から早い実用化を望むならば専用コンピュータを購入設置すればよい。現在専用コンピュータとして市販にあるのは3種類である。その1は Biomedical Computer Lab, が Washington 大学と共同で開発した Programmed Console(P.C. と略称)である⁵⁾。その2は日本電気株式会社と国立がんセンターが共同で開発した Theracom I 及び II 型である⁶⁾。その III は Digital Equipment Co. が Royal Marsden Hospital と共同で開発した RAD-8 である。それぞれの装置の性能の概要を表2に示した。3者を比較すると Theracom I がコンピュータ容量が大きいためもあるが最も高性能である。たゞDEC社の RAD-8 は PDP-8 をベースにしたシステムであるため種々のソフトウェアに恵まれている利点がある。Theracom I の詳細は本誌30巻 115頁の稲岳他の論文に述べられており⁷⁾。その実地使用の結果については本論文で後に述べる。我々の使用経験から見ても専用コンピュータとはいつてもソフトウェアを開発することにより種々の仕事を処理できるシステムが望ましい。その点で Theracom I は優れたシステ

Table 2. Characteristics of representative dedicated radiotherapy computers

Name	Programmed Console	RAD-8	Theracom I
Manufacturer	Biomedical Computer Lab. U.S.A.	Digital Equipment Co. U.S.A.	Nippon Electric Co. Japan
Institute*	Washington University St. Louis, U.S.A.	Royal Marsden Hospital Sutton, U.K.	National Cancer Center Tokyo, Japan
Computer in base	4KW, 12bit/word	PDP, 8/I, 8KW, 12bit/word with dual miniature MT	NECA 3100, 16KW, 18bit/word, with 4MT
Data input	Datamaster (Magnetic card reader) and Keyboard	Keyboard (I-O typewriter)	Specially designed parameter, input board and I-O typewriter
Reading of isodose curve and contour	Rho-theta position transducer	Rho-theta position transducer	Isodose curves are generated by using experimental equations. d-Mac pencil follower for contour.
Display	Storage oscilloscope 8×8 cm	Storage oscilloscope 11 inches	NBG 470 lader display unit 16 inches
Hard copy	Digital X-Y plotter	Digital X-Y plotter	Digital X-Y plotter
Indications	External beam only up to 6 portals	External beam only, at present, up to 6 portals	Multipurpose, external, intracavitary and interstitial. Up to ten portals by inputboard, no limit of portals by the use of soft wares.
Planning of partial shielding	impossible	impossible	possible
Computing time	2sec+[1/2 sec×number of isodose levels]	few seconds	2-8 seconds [depends on the size of display]
Mode of display	Isodose curve	Isodose curve	Isodose mesh points
Capacity for medical data processing	none	small [up to 1000 cases stored in 1 reel]	medium [more than 5.000 cases stored in 1 MT reel]
Flexibility to expand jobs	small	large, especially for experimental use	large, especially for routine works

* Institute in which the system was developed.

ムである。

国立がんセンターの場合は後にも述べるが汎用コンピュータと専用コンピュータを組合わせて使用している。今後は多くの病院でこの形式をとるであろう。特に治療用機器の制御をコンピュータで行うことになるとどうしても専用コンピュータなしには不可能である。専用コンピュータが同時に汎用コンピュータの端末装置を兼ねるのが望ましいのであるが、現在の時点ではこの意味で満足し得る装置はない。しかし技術的には充分可能であるのでその完成は時間の問題であろう。

1. 3及び1, 4, ディスプレイの方法と機器
コンピュータの医学利用にとって重要な問題にディスプレイがある。放射線治療の分野では治療計画特に線量分布の表示及びこれによる最適条件の撰択が可能になるようなディスプレイが望まれる。そのためには高速の処理と表示(できれば秒以下の単位で)が可能であることと、実大で表示されること及び簡単にハードコピーを作れることが必要である。又治療に関連する種々の情報(X線像, サーモグラム, 超音波等の図形診断情報, 臨床検査結果等の数字情報及び病歴関係の文字情

報等)を表示し得ることが望ましい。これ等の要求をすべて満足し得るディスプレイシステムとしては、テレビ技術とコンピュータを結合する以外はないというのが結論である。現在の専用コンピュータシステムにはそれぞれディスプレイCRTが附属しているが、Theracom Iは16インチ残光性CRTを使用し、実大表示を可能にしている。将来はカラーCRTを使用することが望まれる。

腫瘍の拡がりや3次元である以上、治療計画も3次元で行うべきである。従ってディスプレイも3次元で表示されるのが望ましいが、困難な問題が多い。現在実行し得る最も容易な方法は線量分布をいくつかの断面について表示する方法であるが、今後は移動式スクリーンの使用等全く新しい方式を考えた方がよいであろう。その試みの1つを著者が報告した¹⁰⁾。線量分布の表示が立体X線像と重ね合わされるようにされている。こうした立体表示は治療計画のみならずモニタリングとして大いに役立つであろう。

1.5 治療方針の決定への応用

コンピュータが意志決定のために使用されて実績を挙げていることは周知の通りである。治療の場合は腫瘍の種類、進度その他の条件を考慮して患者にとつてもつともよい治療方法を撰択すべきものである。そのためには判断の材料として過去の治療成績、治療後の障害発生の実態等が正確に記録集積されている必要がある。又治療条件及びそれに関連する情報も集録されねばならない。現在は治療センターにより考え方の相違や治療技術の水準の差が見られるが、今後はこうした情報交換により相違や差をなくすべきものである。

1.6 放射線生物学との関連

現在この方面の研究としては主に腫瘍のモデルを設定し、これに種々の照射法を行つた場合の治療効果のシミュレーションを行つているのが多い。シミュレーション設定と臨床結果を対比して見て、適当と思われるパラメータがあれば、これを臨床計画に役立てるべきであろう。さし当つての問題は分割照射の線量配分及び生物学的因子を考慮した線量分布の設定である⁹⁾。

1.7 コンピュータへの解剖学的データの入力

患者の体の輪廓、腫瘍の位置と形、重要臓器の位置と形等のデータをコンピュータに入力する必要がある。このためのデータ収集装置として種々のものがある。輪廓読取装置として光学的のもの¹⁰⁾と器械的のものがある。国立がんセンターでは自家開発した器械的読取装置を使用している¹⁶⁾。X線写真からの図形読取は最も便利で信頼性も高い。国立がんセンターで使用しているd-MacペンシルフォロワーはX線写真その他から座標や図形情報を読取るために開発された装置で、紙テープに出力し、これをコンピュータに入力することができる。将来はこの種の装置が治療計画用シミュレータに組込まれることが望ましい。

1.8 組織の不均一性の問題

高エネルギー光子線による治療の場合、実用上問題になるのは肺のみである¹⁵⁾。1.7にのべた図形読取と線量分布修正プログラムの開発により大部分解決されると結論された。電子線治療の場合は、肺の他に骨の吸収も大きな問題になる。粒子線治療の場合はBraggピークが移動するのでこの問題を充分検討する必要がある。

1.9及び1.10 治療条件の最適化 Optimization

治療計画の良否を判定し、最適の治療条件を求めることをOptimizationといっている。この仕事は手順が与えられればコンピュータで実行し得る。しかし現時点ではまだ評価の方法が確立されておらないので実現しない。評価の方法として1) 得点表方式 Score function⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾ 2) ランキング方式—重要条件を列挙し、ランクをつけ、高位のものから満足させて行く方式等が考えられている。現時点では高速度の計算表示をくり返しながら医師が判断を下すのが最も合理的と思われる。

1.10及び1.11 利用者間ネットワークの整備とプログラム及び情報の交換

放射線治療業務のコンピュータ化のメリットは利用者が増加し、開発せられたプログラムが各利用者に使用され、これを用いて情報交換が可能になると急速に増大する。そのためには利用者のためのネットワークを整備し、プログラムの登録と

交換を推進する必要がある。具体的方法としては1) 当事者間の情報交換, 2) 雑誌その他の刊行物利用, 3) 商業ベースによる流通, 4) 地域センターによるコントロールとサービス等が考えられる。今後はタイムシェアリング方式による大型コンピュータ利用の形式が増加すると思われるので, 4) の形態が最も望ましいのではなかろうか。又今後このような情報交換が国際間に拡大されることを充分考慮しなければならない。

1.14~1.16 放射線治療データ入力の方法

コンピュータにより処理される情報の対象として次のものを考えるべきである。

- 1) 患者の個人識別情報
- 2) 臨床の情報及び検査結果情報
- 3) 放射線治療に関する情報

治療計画及び実行された治療の情報(治療機器から収集する情報を含む)

- 4) 治療後のフォローアップ情報

上記の情報を容易に正確に入力し得る放射線治療用端末装置を開発することが望ましい。現在の段階ではコンピュータと利用者が情報を交換するためには用語をコード化しコンピュータ言語を利用しなければならない。しかし利用者の多くは平易な言葉を使用できることを望んでいる。この点より使用し易い医学用語のコード化とその普及に努力を注ぐ必要がある。Theracom I では治療条件設定用専用入力盤を附属させている。この方法の利点は時間が節約でき、誤りが少いこと及び部分的修正が容易にできることである。専用入力盤上のデジタルスイッチには外部照射用の条件が指定してあるが、これはプログラムを変更することにより他のデータ入力設定に役立つ。たとえば小線源計算用のマスクをはめることによりそのまま入力盤を利用できる利点がある(図5)。医用端末装置にはこのような誰でも使用できる方式の開発が望まれる。

1.17 放射線治療のオートメーション

オートメーションは放射線治療の進歩の一つの目標である。オートメーションといつてもその操作に人力が入るオープンループと全く人力が入ら

ないクローズドループを分けて考える必要がある。実際には医療の場合はクローズドループは望ましくない。オープンループの場合はそのコントロールは技師が行うことになり、その役割は重要になる。オートメーションの目的は下記の通りであり、今後必然的に推進される状況にある。

- 1) 精度の向上
- 2) 人件費、運転費の節約
- 3) 治療の正確な記録

将来治療のオートメーションを推進するとすれば治療機器を制御し、モニタリングを行うために専用小型コンピュータを治療機器に附属させることが望ましい。著者の私見では今後陽子その他の高LET放射線を使用することになればコンピュータ制御は必要不可欠の技術になることが予想される。

その他にも種々の討議があつたがこれは省略する。この会議での討議の全体を通じての感想として、線量計算乃至病歴情報処理関係の仕事は大いに進んでいるにも拘らず、治療機器の制御ことに3次元線量分布の制御については進歩のあとが少い。治療技術をいたずらに複雑化するはずしもよいことではないが、しかし精度の高い発生装置はより高度の技術で制御せられるべきものであるし、それが今後の放射線治療の技術進歩の唯一の途ではなかろうか。

2. 国立がんセンター放射線治療部の情報処理システムとその経験

2.1 概説

国立がんセンターの放射線治療部のコンピュータによる情報処理の研究は1965先ずアナログコンピュータを用いて開始せられた¹⁰⁾。当初の目的は線量計算を即時化し、治療計画の高度化と治療のモニタリングを行うことにあつた。1967汎用コンピュータHITAC8300が国立がんセンターに設置せられ、以後高精度の線量計算が可能となつたが、汎用機であるだけに治療関係の入出力機器の整備は思うにまかせず、治療計画用としての使用は不可能であつた。1967にリニアックの設置と共に、治療の現場で治療計画の即時化、病歴情報処

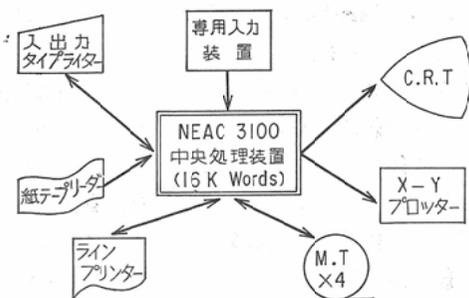


Fig. 1 The machine configuration of dedicated radiotherapy computer system Theracom I

理の現業化を目標とする専用コンピュータシステム開発計画を立て、日本電気株式会社との協同研究を始めた。当初はリニアックの制御も考慮したが、治療装置の側の受入れに困難な面が多く断念した。この点は今となって見るとやや残念であり、最近コンピュータ制御をとり入れた装置が発表される形勢にあることを見ても手をつけておくべきであった。2年間の準備の後に1969装置は完成し、Theracom Iと命名せられた。その機器構成は図1の通りであつて、一通り周辺機器が揃つていて治療計画のみでなく病歴情報処理の現業化も可能である。この点は後になって大きいメリットになった。単に治療計画のみを行う単能機では発展性がなく、すすめられないことは1.1にも述べられている。Theracom Iと汎用コンピュータHITAC8300とのデータ伝送は紙テープを介して行われ、お互いの機能をバックアップしている。専用及び汎用のシステムと関連機器の構成を図2に示す。システムが一応ととのつたので、以後治療計画関係のソフトウェアの開発と治療関係病歴情報処理業務の実用化について現在まで研究を進めて来た。コンピュータのメーカーが異なる場合はリンケージに困難な点が多く、特に業務をルーティン化することは甚だ難しい。そのため結局現場で処理し得る業務はなるべく専用コンピュータで処理する傾向にある。

2.2 ソフトウェアについて

現在までに開発せられた放射線治療関係のプログラム体系を図3に示す。図3の中でHと例記し

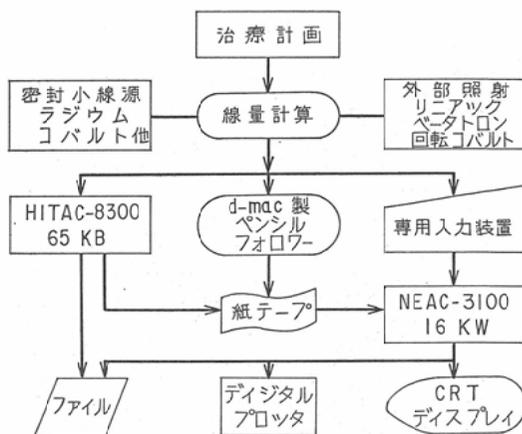


Fig. 2 The computer system for radiotherapy in National Cancer Center

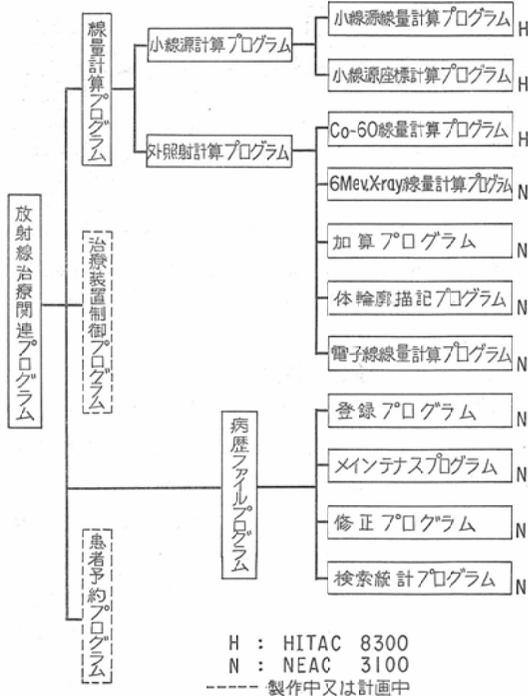


Fig. 3 Soft wares relating to the radiotherapy in National Cancer Center

たものはHITAC8300を主としたもの、Nと付記したものはNEAC3100を主としたものであるが、両者を併用している場合もある。各項目について若干の説明を加える。

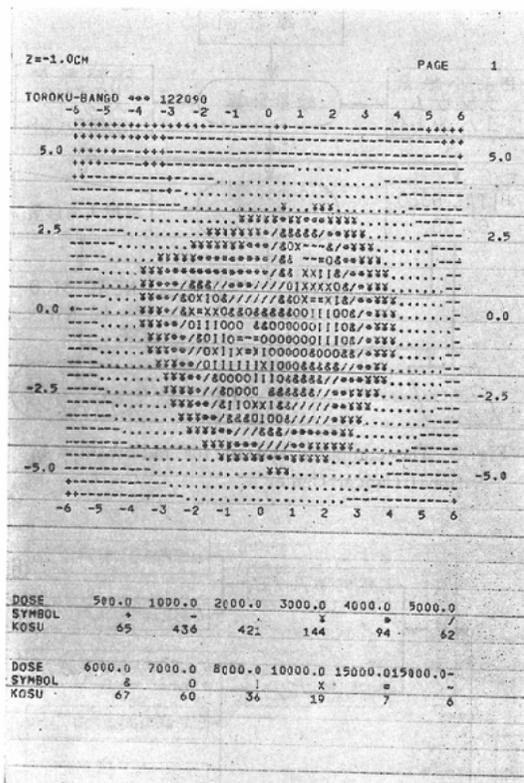


Fig. 4 An example of dose distribution output from HITAC 8300 for a case of tongue cancer.

2.2, 1 小線源計算プログラム

座標計算プログラムと線量計算プログラムに分れている。前者は線源の挿入されている患者のX線写真から d-Mac ペンシルフォロワーを用いて線源位置をよみとり、次いで座標を計算するプログラムである。X線写真の撮影法は平行移動曝射と直角2方向撮影を対象に応じて使い分けている。線量計算プログラムは尾内が作製したプログラムを利用している¹⁴⁾。図4にその結果の1例を示す。下方に線量レベル表示シンボルの説明と共にその線量レベルに含まれるシンボルの数を示している。シンボルの数を9.6で除した数字はその線量レベルの占める容積 cm^3 (但し表示されている面を含む1 cm厚の体積の中のもの) を現わしている。必要断面全部についてこの数字を加算すれば線量レベル別容積を求めることができる。又腫

瘍の領域のみ、あるいは問題となる臓器のみを抜き出して、その線量レベル別容積を求めることもできる。町田はこの方法を用いて子宮頸癌腔内照射の場合の線量分布の評価を行った¹⁵⁾。1.9~1.10に述べた線量分布の最適化はこのような裏付けの上に行われるべきものである。小線源線量分布に外部照射の線量分布を加算することもできる。特に小線源線量分布を紙テープを介して Theracom I に読みこみ、CRTにディスプレイながらリアックX線線量分布の加算を行うと、治療計画ことに外部照射による小線源線量分布の補正に役立つことが多い。このような補正により救い得たと考えられる症例もある。

小線源線量分布の高速計算表示のためには Theracom I を使用しており、その際は図5に示すように入力盤に小線源用マスクをはめてセットしている。この場合は線源容器の吸収の方向性を無視する簡略化計算を行って高速化をはかっている図6, 7. 子宮頸癌のように線源5~6個を使用している場合は1回の線量計算と表示は10秒以内で可能である。従つてこの方式を利用して遠隔制御小線源治療装置の制御乃至モニタリングを行うことも可能である(図8)。計算を10秒毎にくり返す時に照射時間を更新すると線量分布は次第にビルドアップして来る。従つてあらかじめ設定された線量分布に到達した時にスイッチオフすることもできる。線量のビルドアップ乃至は座標変換

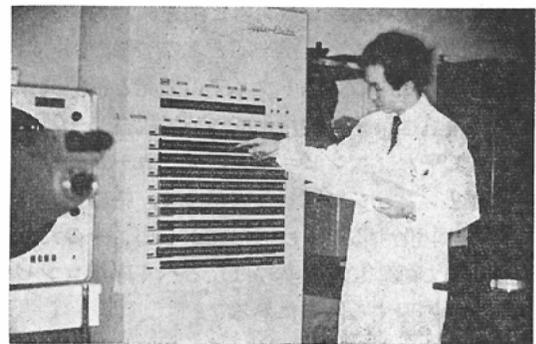
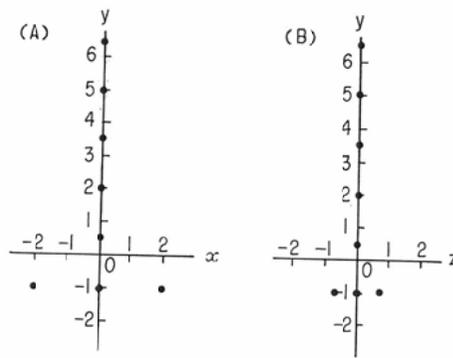
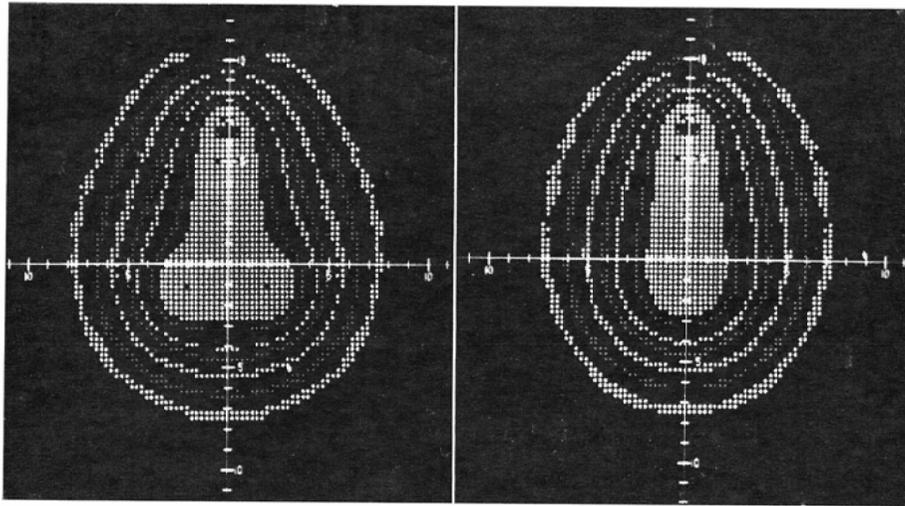


Fig. 5 Setting of parameters for the intracavitary irradiation by the use of special mask put on the input board



○ Point source

Fig. 6 High speed computation and display of intracavitary irradiation, by Theracom I

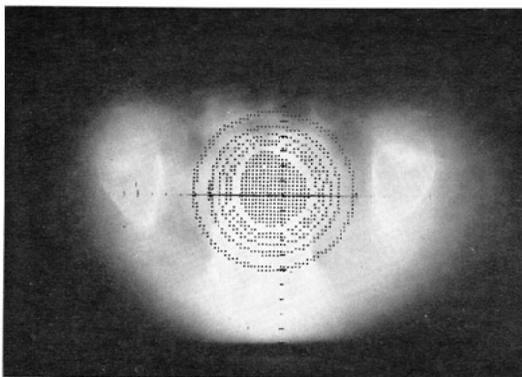


Fig. 7 Display of intracavitary irradiation overlapped on the cross section radiography

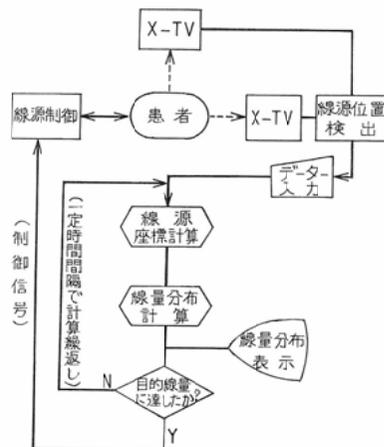


Fig. 8 A flow chart for the computer control of remote controlled intracavitary irradiation

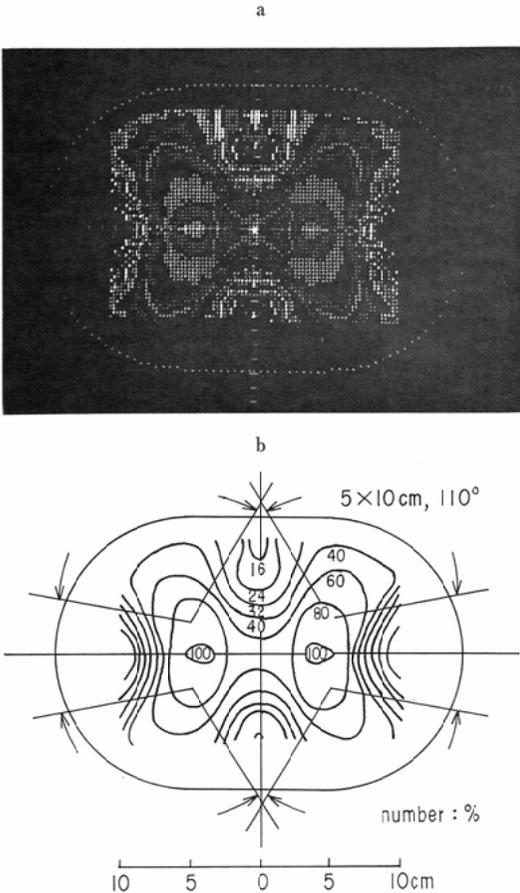
(体軸の回転等)にともなう線量分布の変化をシネに撮影し、投映して見ると極めてよく治療条件を観察することができる。今後X線像その他の解剖学的図形情報とオーバーラップさせて観察する装置を完成すれば最もよいモニタ装置となろう。

2.2, 2 外部照射線量計算プログラム

テレコパルト及びリニアック6MV X線による外部照射線量分布計算プログラムを尾内の方法により作製した¹³⁾¹⁴⁾。このプログラムにより治療計画に必要な標準線量分布約300種類を作製し、集録している。これには数種の代表的な人体輪廓にあわせて1門、2門、多門回転、振子、切線振子

照射等の線量分布が含まれ、通常の治療計画は殆どこのファイルで間に合うくらいである。その他個々の治療例について計算せられた分布でも汎用性があると考えられるものを追加集録している。

Theracom Iのための6MV X線外部照射のプログラムの詳細は稲岳の論文に述べられている⁷⁾。専用入力装置により10門までのパラメータをセットし計算を行うことができる。10門以上の多門照射の計算を行う時は加算プログラムを使用する。これにより次々に入力装置にセットされた条



Interpretation of the CRT display of external irradiation to the parametria
Fig. 9 CRT display of eccentric pendulum irradiation to both parametria

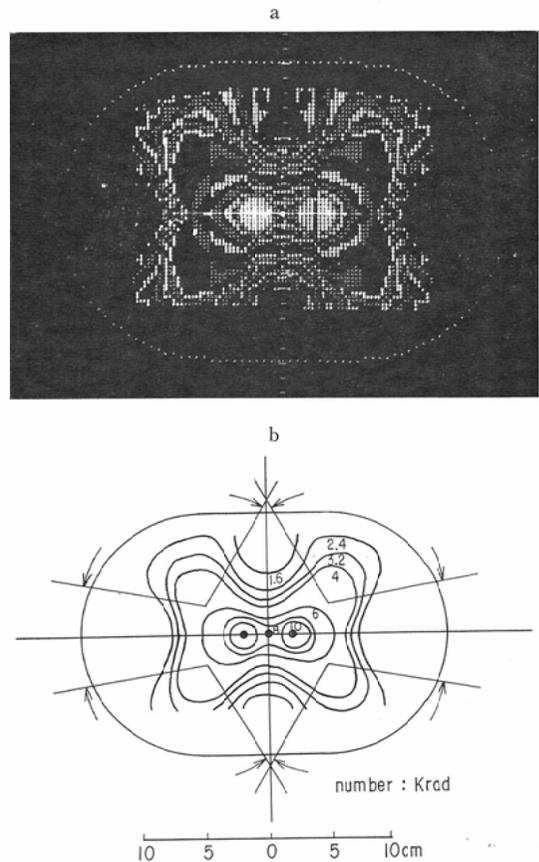


Fig. 10 Synthesis of intracavitary and external irradiation

Intracavitary: tandem-Co⁶⁰ 20mCi ×2 and 10 mCi ×1. ovoid-Co⁶⁰ 20mCi×2. time: 24 hours.
External: 6MV X-ray, combination of 4 portal pendulum irradiation 5×10cm, 110°, maximum dose=6.000 rad, isocenter: 5cm lateral, 2.5cm ant. or post.

件の線量分布を加算し、任意の門数まで速やかに計算表示することができる。図9はこの方法で計算せられた子宮頸癌の傍子宮骨盤壁に対する4分割偏心振子照射の例であり、各振子照射を10門で代表し、合計40門の合成である。又加算の際に回転中心を前後左右に偏心させている。現在の専用コンピュータの中でこのような計算機能を持つている装置は他にない。又この加算プログラムを利用して小線源照射と外部照射の線量分布を加算し表示することができる。図10はその1例で子宮頸癌の腔内照射と外部照射の合成である。この方法の目指すのは小線源照射の偏移や不足の部分を外照射で補足あるいは修正するにある。加算プログラムを利用して線量分布の減算を行うこともできる。実際の治療ではマイナスの照射はできないが、治療計画の段階ではマイナスの照射を加えてホットスポットを消去するとか、一部分を防禦することができる。ただしこの場合は消去減算する線束が減算前の計画に含まれている必要がある。Theracom Iは部分防禦の計画が可能であり、これも又他のシステムに見られない特長である。これも一種の減算である。減算乃至部分防禦の機能を利用すると高度の治療計画が可能になる。一般に部分防禦を行うと絶対線量が減少する他に線量分布も変化するのでその計画がかなり難しく、これが原体照射のネックの一つになっている。従来のコンピュータシステムではその解決がむづかしかつたが、Theracom Iにより始めて実用可能になったといつてもよい。図11は篩骨洞癌に対する部分防禦照射計画の1例である。健側眼の全体と患側眼の一部を防禦した場合の線量分布であり、シールドブロックの透過率を右側36%、左側60%に設定している。放射線治療の今後の課題として如何にして障害を軽減するかが重要な問題と考えられ、その意味で部分防禦の場合の線量計算可能な治療計画コンピュータの研究は非常に大切な課題である。

リニアックX線照射の線量分布計算と共に線量レベル別に照射容積を計算し記録するプログラムを開発し実用化している。線量レベル別容積の計

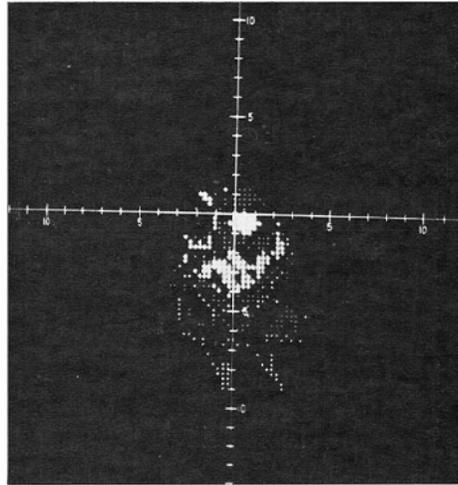


Fig. 11. a) An display of treatment planning for partial shielding. A doublearc irradiation for an ethmoidal cancer was simulated by 28 portals [14 portals for each arc]. Shielding for the right eye was assumed to be 3 cm diam. and 36% penetration. Shielding for the left eye was assumed to be 1.5cm diam. and 60% penetration. Brightest dots correspond to 100 and 80%, bright dots 60 and 40 and others 90, 70, and 50%.

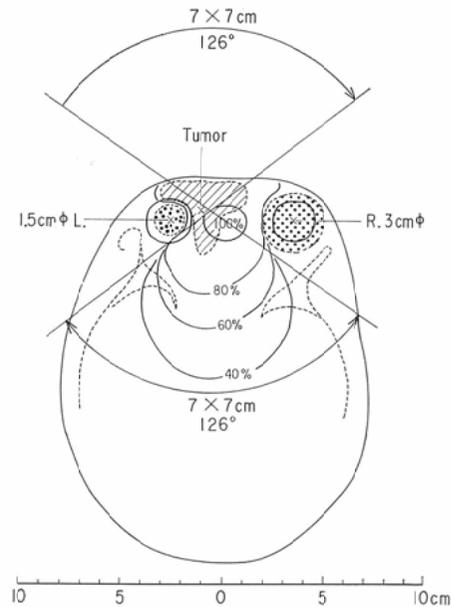
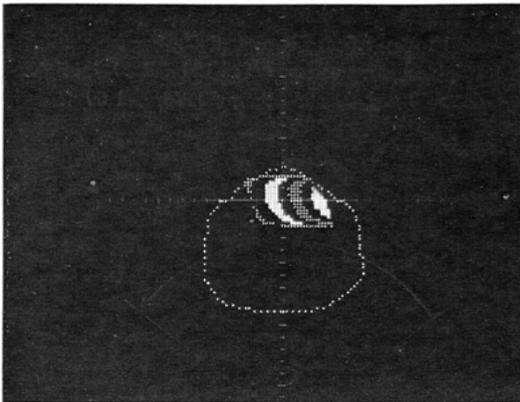


Fig. 11. b)

算が有用なことは小線源の項でも述べた。その治療計画への応用の1例を図12~15に示す。喉頭癌治療の場合1門照射, 対向2門照射, 直角2門楔フィルタ使用照射のどの方法がよいかを線量レベル別照射容積の面から考察すると, 楔2門照射が最もよいことになる²⁰⁾。1門照射では中~高線量域に, 2門線照射では高線量域にそれぞれ無駄な照射容積が見られるのに対して, 楔2門では高線量域には無駄な容積がなく, 低線量域に容積が増加しているが, これは障害には殆ど寄与しないと思われる。但し楔2門は有効容積が減少することを意味するので, 照射の実施にははるかに高い精度が要求せられることになる。臨床経験も又この結果に一致し, 楔2門照射では障害例はなかつたが, 再発率はやや高かつた。線量レベル別容積が解剖学的情報と関連づけて記録解析されれば更に

有用な評価が可能になると考えられるが現在はまだそこまでは手がとどかず, 今後の問題である。

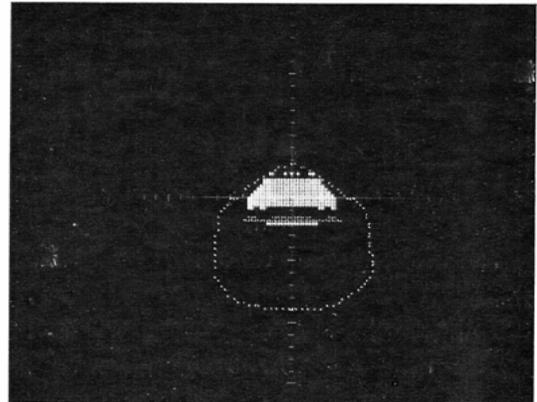
電子線の線量分布計算については2のプログラムを開発し使用している。その1は既に得られている線量分布をグリッド方式で読みこみ, 磁気テープに記憶させ, 必要に応じて読み出す方法で, 原理は簡単であるが, フレキシビリティーに欠ける欠点がある。ちなみに専用コンピュータシステムの内 P.C. と RAD-8 は共に外部照射計算にこのグリッド記憶方式を採用している。その2は河内が開発した方式⁹⁾であつて, 実験式により電子線の線量分布をシミュレートする方法である。この方法は実測とよく一致し, 種々の条件に応じた修正乃至適応が可能でフレキシビリティーが高い。リニアックX線と電子線の線量分布を合成し表示することも加算プログラムにより可能であ



No. 1 4×4cm, single portal

Dose level	Volume dose/100 rad
90 — 100%	2280 gr. rad
80 — 90	2581
70 — 80	2700
60 — 70	2860
50 — 60	220
40 — 50	0
30 — 40	140
20 — 30	200
10 — 20	0
Total	10780 gr. rad

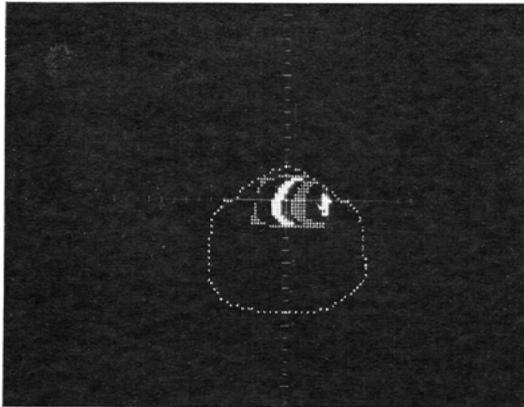
Fig. 12



No. 2 4×4cm, opposing two portal

Dose level	Volume dose/100 rad
90 — 100%	8360 gr. rad
80 — 90	1020
70 — 80	300
60 — 70	0
50 — 60	0
40 — 50	0
30 — 40	280
20 — 30	100
10 — 20	0
Total	10059 gr. rad

Fig. 13



No. 3 4×4cm, single portal, 30° wedge filter

Dose level	Volume dose/100 rad
90 — 100%	1900 gr. rad
80 — 90	2380
70 — 80	2400
60 — 70	2860
50 — 60	220
40 — 50	0
30 — 40	140
20 — 30	200
10 — 20	0
Total	10096 gr. rad

Fig. 14

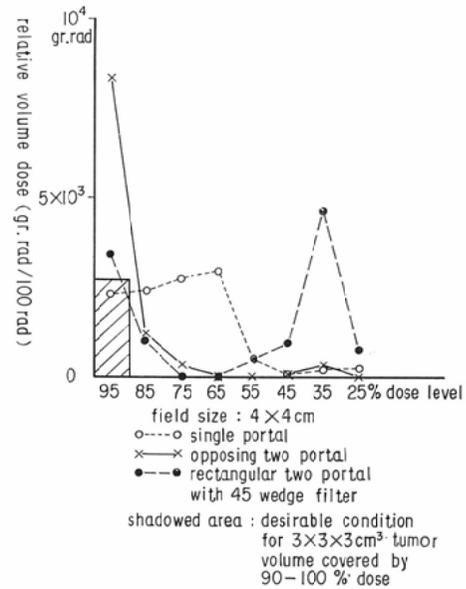
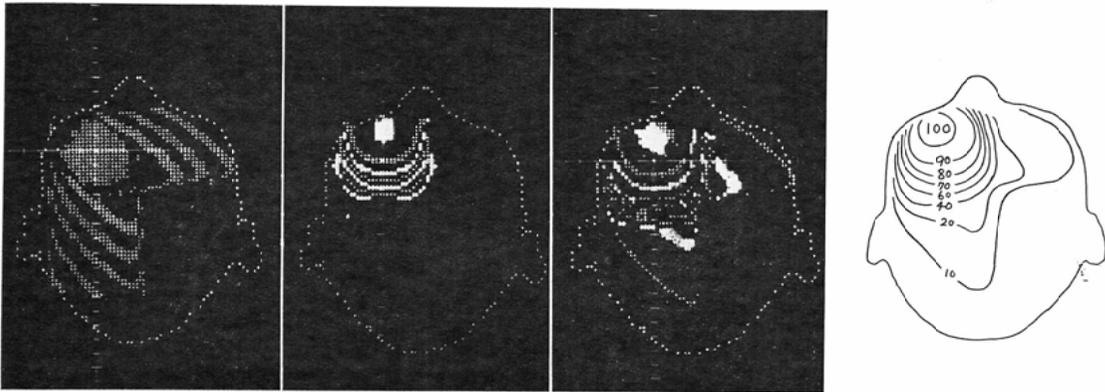


Fig. 15 Relative volume dose given by 3 different technics for the radiotherapy of laryngeal cancer by 6 MV X-ray

る。図16に電子線線量分布計算の例を示す。
 体輪廓描記プログラムは2種類から成る。
 その1は d-Mac ペンシルフォロワーを用いて、回転横断撮影その他のX線写真から体の輪廓



a) 6 MV X-ray 6×6cm, rectangular two portals 45° wedgefilter, curves correspond to 100%, 40%, 36%, 32%, 28%
 b) 17.5 MeV Electron 6 cmφ, brighter dots correspond to 100%, 80%, 60% and 40%
 c) Synthesis of a) and b), X-ray: Electron=1:1
 d) Interpretation of c)

Fig. 16 A display of synthesized dose distribution, 6 MV X-ray and Electron

臓器の位置、形状等をよみ取り、その紙テープ出力を Theracom I に入力しディスプレイするプログラムである。

その2は体輪廓自記装置である¹⁶⁾。これはシミュレータにとりつけ、患者周囲を回転あるいは走査しながら近接スイッチの制御により輪廓を記録する装置である。そのアナログ出力を日本光電製 ATAC 201型データ集録装置を利用して紙テープに穿孔してコンピュータ入力とすることができる。以上に線量計算プログラムについての現在までの開発状況をのべたが、今後の期待としては計算表示が更に高速化し、1秒以下で表示されることを期待したい。線量分布が動画として表示され、患者の体動、治療又は治療計画装置の運動と共に流動的に観察できるようになれば治療計画、モニタリング、治療制御装置として充分役立つと考えられるからである。

2, 2, 3 治療装置制御プログラム

現段階では治療機器はまだコンピュータ制御を考慮して作られているものが殆どない。僅かに A E C L社の Theratron と Varian 社の Clinac にプログラム制御の治療装置があるだけである。しかし1.17にも述べたように今後治療のオートメーション化は必ず実用化するであろう。特に高LET荷電粒子線による治療の場合にはビーム偏向、深さ方向の分布等の制御にはコンピュータ制御を必要とすることは必至である。現在若干の準備を進めているが、まだ発表できる段階にない。

2, 2, 4 病歴ファイルプログラム

放射線治療へのコンピュータの応用は線量計算から始められた。しかしコンピュータのメリットは病院内の多くの部門からの情報を収集整理し、必要に応じて伝送する所謂病歴管理の面により大きい。本来ならばこのような仕事はネットワークの整備の後に開始されるべきものであるが、日本の病院の実情として全部門の足並が揃うのは容易なことではない。どうしても可能な部門からスタートする他はない。国立がんセンター放射線治療部では治療の現場で治療計画を立てると同時に病歴情報が収集記録管理されるシステムを計画し、

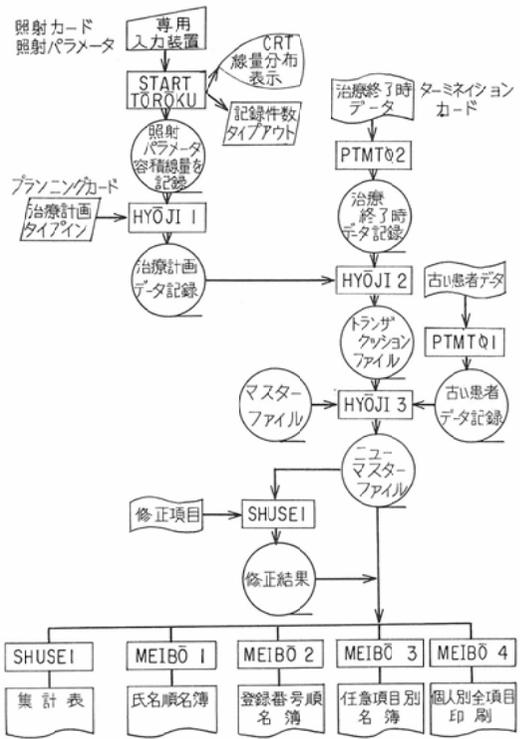


Fig. 17 The flow of medical data processing in the radiotherapy department

1970年11月からすべて現業化した。現場での作業を第一としたため、コンピュータとしては Theracom I のみに依存し、汎用コンピュータを使用していない。将来患者数が増加し、情報量が増加した場合は汎用コンピュータとのリンクが必要となるが、現在の10,000人以下の登録患者数であれば充分現場で処理し得る。病歴ファイルプログラムの手順が図17に示される。まず Theracom I の専用入力装置により治療条件がセットされ、線量分布計算を行う。通常線量分布はポラロイドカメラでハードコピーに記録される。次に治療計画カードに記入された患者の個人識別情報と病歴情報をタイプライターから入力し合成する。治療が終了すると終了カードに実行された治療条件を記入しこれをもとにして必要事項を入力する。終了カードには100字以内の総括を記入できるようになっており、これがコンピュータに入力される。こ

の総括の記入方式は医師の自由であり、コード化されていない重要情報を簡潔にまとめることになっている。僅か、100字であつてもこの総括は非常に有用である。

本システムの現業化以前の患者約6000人については治療計画を省略し、最小限の病歴情報のみを入力してある。ここで新旧2系統の患者のファイルが合成されてマスターファイルとなる。当然必要となる修正用プログラム及び若干のエラーチェックプログラムが用意されている。完成したマスターファイルから次の作業が行われる。

- 1) 台帳作製
 - a) 登録番号順
 - b) 氏名アルファベット順
 - c) 診断別
 - d) 部位別

の台帳を作製している。もちろん必要に応じて他の項目をキーとする台帳も作れる。

2) 集計表作製

任意の項目をキーとする統計表作製ができる。

3) 個人別全項目印刷

治療患者1人分の記録内容はラインプリンク用紙1枚分にタイプアウトされる図18。右側の余白に線量分布写真をはることができる。この紙は要するに放射線治療総括であり、これをレポートとして送付できる。紹介せられた患者の治療記録として送付すれば従来の手数のかかった手紙を書く手間が大いに省ける上に内容は非常に正確になる。今後病院間の情報交換にこのような方式がとり入れられれば大いに能率が上るし、医療内容の向上に役立つと考える。

病歴情報処理業務の詳細については共同研究者により発表せられる予定であるので、この稿では省略する。

2, 5 放射線治療部業務管理について

放射線治療部は多数の患者を能率よく治療する必要に迫られている。外来及び入院の患者についてそのスケジュールを作製し、治療診察の予約を行うのはコンピュータにとって最適の仕事の一つ

であろう。国立がんセンターでも業務の合理化のためにコンピュータを役立てることを考えたが、コンピュータ以前の問題が多すぎてなかなか実現しない。病院の事務機構入院患者の管理、医師の勤務体制等々のシステムを合理化しなければコンピュータ化も不可能であることが分つた。合理化は一挙に行うことは難しく、根気よく辛棒強く進める他はない。もつともこうした作業が放射線科医が研究すべき課題であるかどうかには疑問が多い。山口氏等によるシステム分析の結果については教えられる点が多い。専門的の病院業務を複雑化しているきらいがある。コンピュータを導入することで省力どころか、業務を増加させているかもしれない。しかし現在の過渡期の研究としては止むを得ないことであろう。

Fig. 18 A data sheet for the planning of radiation therapy, National Cancer Center

Planning of Radiation Therapy

① No.			
② Name	③ The first examination 197 <u> </u> Y <u> </u> M <u> </u> D		
	④ Male <u>(1)</u>	Female <u>(2)</u>	
		Y <u> </u> M <u> </u> D <u> </u>	
	⑤ Date of birth		
⑥ Clinical Diagnosis	Location cord <u> </u> <u> </u> <u> </u> <u> </u>		
⑦ Pathological Diagnosis	Pathology cord <u> </u> <u> </u> <u> </u> <u> </u>		
⑧ Doctor, Div.	No.	<u> </u> <u> </u> <u> </u>	
⑨ Primary radiation radical <u>(1)</u> Secondary radiation <u>(2)</u> Operation only <u>(3)</u>			
Preoperative <u>(4)</u> Postoperative <u>(5)</u> Intraoperative <u>(6)</u>			
Primary radiation palliative <u>(7)</u> <u>(8)</u>			
No treatment <u>(9)</u> Undetermined <u>(0)</u>			
⑩ T	N	M	
⑪ Date of planning 197 <u> </u> Y <u> </u> M <u> </u> D <u> </u>			
⑫ Site	cord <u> </u> <u> </u> <u> </u>		
⑬ Method of treatment			
Supervoltage X-ray <u>(0)</u> Linac electron <u>(1)</u>			
Betatron electron <u>(2)</u> Telecobalt <u>(3)</u> Intracavitary <u>(4)</u>			
Interstitial <u>(5)</u> Radioisotope <u>(6)</u> Deep X-ray <u>(7)</u>			
Superficial X-ray <u>(8)</u> No treatment <u>(9)</u>			
⑭ Scheduled total dose _____ rad, Dose/Fraction _____ rad			
_____ Times/Week			
Policy _____			

3. 結 語

前半に述べた Glasgow での会議の討議内容と、後半での国立がんセンターでのコンピュータシステム開発利用の経験を対比して見て、我々の意図したことが略国際的にも共通した考え方であることが分つた。日本の技術の特長として応用研究に強いことが挙げられている。コンピュータ利用はまさにその1である。放射線治療の業務が本来最もコンピュータ利用に適しており、しかもその利用により今後更に成果を挙げ得ることが分つている以上、もつと努力を傾注すべきであろう。我々のささやかな経験が学会員諸氏に何等かのプラスとなればこれにまさるよろこびはない。

終りに当り、本研究の主力となつた Theracom I の開発に当られた日本電気株式会社稲邑清也、大谷四郎、青木和彦他の諸氏に深甚の敬意と謝意を表す。又本研究の発展は厚生省がん研究助成金の援助によるところ多大であつた。

文 献

- 1) International Atomic Energy Agency. Computer Calculation of Dose Distribution in Radiotherapy, Technical Report Series No. 57, IAEA, Vienna, 1966.
- 2) International Atomic Energy Agency. Role of Computers in Radiotherapy, Report of a Panel, IAEA, 1968.
- 3) The Use of Computers in Therapeutic Radiotherapy, Report of Conference held in Cambridge, England, June 14—17, 1966. British Institute of Radiology, 1967.
- 4) Cohen, M.: Special Report No. 4. Computers in Radiotherapy. A Status Report based on the Second International Conference on the Use of Computers in Radiation Therapy., (Chicago, U.S.A., September 24—27, 1968) *Bit. J. Radiology* 43, (1970) 658—663.
- 5) Holmes, W.F.: External Beam Treatment-planning with the Programmed Console. *Radiology*, 94 (1970), 391—400.
- 6) Hope, C.S. et al.: Optimisation of X-ray Treatment Planning by Computer Judgement. *Phys. Med. Biol.* 12 (1967), 531—542.
- 7) Inamura, K. et al.: Real Time Dose Distribution Display by Digital Computer. *Nippon Acta Radiologica*. 30 (1970), 315—333.
- 8) 河内: 電子線の媒質中における線量分布の計算法, 第30回日本医学放射線学会総会抄録集 (1971) p. 436—437.
- 9) 久津谷, 恒元: デジタル型電子計算機による最適線量分布の計算第4報, 第30回日本医学放射線学会総会抄録集 (1971) 520—521.
- 10) Lanzle, L.H. et al.: An Automatic Patient Contour Measuring Apparatus. *Amer. J. Roentgenol.* 108 (1970), 162—171.
- 11) 町田: 電子計算機による子宮頸癌腔内照射の線量分布の計算とその評価, *日医放誌*, 30 (1970). 33—45.
- 12) 松川, 作道: 電算機の放射線治療への利用, *アイソトープニュース* No. 199 (1971) p. 12—16.
- 13) Onai, Y. et al.: Calculation of Dose Distributions in Radiation Therapy by a Digital Computer. I. The Computation of Dose Distribution in a Homogeneous Body for Co-60 Gamma Rays and 4.3 MV X rays. *Nippon Acta Radiologica*, 27 (1967), 653—666.
- 14) 尾内 他: 放射線治療における線量計算への電子計算機の利用について *Radioisotopes*, 17 (1968). 453—465.
- 15) Onai, Y. et al.: An Analysis of Dose Distributions in Thorax in 4.3 MV X-ray Rotation with the Use of a Digital Computer. *Nippon Acta Radiologica*, 29 (1969), 1313—1319.
- 16) 高橋 他: 人体輪廓自動描記装置の試作, *日本放射線技術学会雑誌*, 26 (1970). 291—299.
- 17) 梅垣: 放射線治療の線量計算と電子計算機, *医学のあゆみ*, 65 (1968). 807—816.
- 18) Umegaki, Y.: A Real-time Treatment Planning System for Radiotherapy of Cancer. *GANN Monograph* No. 9 (1970) p. 273—284.
- 19) Umegaki, Y.: Development of Computer Systems for Radiotherapy of Cancer. *Jap. J. Clin. Oncol.* 1 (1971), 65—82.
- 20) 梅垣: 喉頭癌の放射線治療, *癌の臨床*, 17 (1971). 90—95.