

JAERI - M  
90-049

バイオイメージアナライザー出力像の定量解析

1990年3月

田中 高彬

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division  
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-  
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1990

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 いばらき印刷(株)

バイオイメージアナライザー出力像の定量解析

日本原子力研究所ラジオアイソトープ・原子炉研修所

田中 高彬

(1990年2月6日受理)

輝尽発光体で作られたイメージング・プレート上に放射線像を記憶させ、レーザー光による励起とコンピュータによるデータ処理で像を再生する機能を持ったバイオイメージアナライザーは、生物試料のオートラジオグラフィ像の測定に使用されている。この機器から得られる二次元放射線像出力を定量的に解析するための研究を行った。輝尽発光体に記憶された放射線像は照射後の環境温度や経過期間に依存した像の退行を示す。C14- $\beta$ 線を一定時間照射し、10℃から40℃の環境温度のもとで1時間から14日間にわたる経過期間毎に出力を測定した。また、照射時間の関数として求められた出力から、フェーディングのない絶対出力を決定した。各期間毎のフェーディング率を算定し、各温度毎のフェーディング補正式を経過期間の関数として求めた。他の $\beta$ 線および $\gamma$ 線照射後のフェーディングについても検討したところ、C14- $\beta$ 線の場合と一致することが確認された。

Quantitative Analysis for Radiation Image Measured by  
Bio-Image Analyzer

Takaakira TANAKA

Radioisotope and Nuclear Engineering School  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Honkomagome, Bunkyo-ku, Tokyo

(Received February 6, 1990)

Bio-image analyzer is a system for detecting radiation images. In the system, the radiation image recorded on the imaging plate (coated with photostimulable phosphor on a polyester plate) is read out as light signals by laser beam excitation and the image data are processed by a computer. This system is mainly applied for the autoradiography of biological samples.

In order to clarify the characteristics of the analyzer, the factors that affect to the quantification of radiation image have been investigated. The photostimulable phosphor shows the fading phenomenon and its quantity depends on the preservation temperature and period. Irradiating  $^{14}\text{C}$ - $\beta$  ray for definite time, the plates were preserved for 1 hour to 14 days under  $10^\circ\text{C}$  to  $40^\circ\text{C}$  and read out. The absolute output value, defined as a value unaffected by fading, was determined from the relation between irradiation time and the output, by extrapolating the time to zero. Compared to the absolute value, the calibration factors were calculated and expressed as the function of storage time and temperature. The fading effects after  $^{204}\text{Tl}$ - $\beta$  and  $\gamma$  ray irradiation were also examined and the fading rates almost coincide with that of  $^{14}\text{C}$ - $\beta$  ray.

Keywords: Photostimulable Phosphor, Imaging Plate, Bio-image Analyzer, Autoradiography, Quantitative Analysis for Radiation Image, Fading, Calibration Factor

## 目 次

1. 序 論 .....	1
2. 使用機器 .....	2
2.1 バイオイメージアナライザーの構成 .....	2
2.2 機器の性能 .....	2
3. 測 定 .....	3
3.1 IP感度の位置依存性 .....	3
3.2 フェーディングの線質依存性 .....	4
3.3 使用線源の絶対出力 .....	4
3.4 フェーディングの測定 .....	5
4. 測定結果 .....	6
4.1 感度補正係数の決定 .....	6
4.2 感度補正式の決定 .....	6
5. 検 討 .....	7
5.1 感度補正式の精度 .....	7
5.2 長時間照射のフェーディング評価 .....	7
6. 結 論 .....	8
謝 辞 .....	8
参考文献 .....	9

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Instruments .....	2
2.1 Constitution of Bio-image Analyzer .....	2
2.2 Characteristics of Instruments .....	2
3. Experiments .....	3
3.1 Uniformity of Sensitivity for Imaging Plate .....	3
3.2 Fading Rates of Some Radiations .....	4
3.3 Output Value without Fading .....	4
3.4 Measurements of Fading Rates .....	5
4. Experimental Results .....	6
4.1 Determination of Correctional Factors for Sensitivity .....	6
4.2 Determination of Correctional Equations for Sensitivity .....	6
5. Discussion .....	7
5.1 Accuracy of Correctional Equations for Sensitivity .....	7
5.2 Fading Evaluation of Outputs Irradiated for Long Period .....	7
6. Conclusion .....	8
Acknowledgement .....	8
References .....	9

## 1. 序 論

バイオイメージアナライザー (Fuji BA100) は、輝尽発光体 (Photostimulable phosphor) を検出器とする二次元放射線像の解析装置である。1980年代初期に開発された医療用の診断システム (Fuji computed radiography system: FCR101)<sup>1), 2)</sup> の応用機器として製作され、従来使用されてきた写真乳剤にかわる放射線像の解析手段として生物試料のオートラジオグラフィやX線回折像などの測定に利用されている。このシステムの特徴は、フィルム状に整形された検出体に記憶された放射線像をレーザーによる励起で輝尽発光を起こさせ、光電子増倍管により検出してデジタル電気信号として読み出し、コンピュータによる画像処理を行うところにある。従って、コンピューテッド・ラジオグラフィ (Computed radiography: CR) と呼ばれている。本機器の出現により画像の収録、処理が簡単、正確かつ速やかに行われ、保存や再生が大幅に簡素化されることになった。その結果、検査フィルムを長期間にわたり保管することが義務とされている医療用検査に大きな変革をもたらすことになった。また、工業用の非破壊検査やオートラジオグラフィなど、従来写真乳剤が使用されてきた分野への応用と、放射線管理測定などへの応用が期待されている。

二次元放射線像の評価は、アナログ的解析を目的とする場合と、出力像の各領域についての定量化を必要とする場合がある。今後、バイオイメージアナライザーが放射能面密度や放射線量の測定に利用される時には、出力の定量を必要とする事態が増加することが予想される。一般に、放射線像に対応する放射能や放射線量を定量するには2つの方法がある。試料による出力像を標準線源や基準線量が形成する出力像と比較することによって定量する比較定量法と、出力像の潜像退行 (フェーディング) を評価することにより絶対出力算定の補正を行う絶対測定法である。比較定量法は、標準線源や基準線量の設定により容易に達成されるが、絶対測定法は、本機器の検出体として使用されている輝尽発光体のフェーディング特性がいまだ研究されていないため、その実行が不可能である。本研究は、絶対測定に必要なフェーディング特性を環境温度や経過期間ごとに測定し、各条件ごとの絶対出力算定式を決定して定量評価法を確立するのが目的である。

本機器では、放射線像を記憶させるための検出体として輝尽発光物質である、+2価のユーロピウムイオンをドーブした BaFBr:Eu<sup>2+</sup> (バリウム・フロロ・ブロマイド) が使用されている。放射線の照射により結晶中に形成された光電子、あるいは Eu<sup>2+</sup> イオンの内のいくつか電離して生成された電子は、伝導帯を移動する内にハロゲン空格子点 (F<sup>-</sup> または Br<sup>-</sup>) に捕獲され、準安定状態の F センターを形成する。この状態のもとで F センターの吸収スペクトルと整合性のよい二次励起光が照射されると、捕獲されていた電子は再び解放されてホールと再結合し、F センターは消滅する。この時に生じたエネルギーが輝尽発光 (Photostimulated luminescence: PSL) を発生させると考えられている。<sup>3), 4)</sup> しかし、照射 (一次励起) により形成された F センターは、その一部が自由電子による励起を受けて解放された PSL を発することがある。即ち、フェーディングの発生が観測される。その発光の確率は一次励起後の環境温度と二次励起までの経過時間に依存する。

## 2. 使用機器

### 2.1 バイオイメージアナライザーの構成

本機器は、検出部と画像読取装置から構成される。検出部は輝尽発光物質を支持体に均一に薄く塗布して、表面を保護膜で覆ったフィルム状物質であり、イメージング・プレート (Imaging Plate : IP) と呼ばれている。IP の構造を Fig. 1 に、各構成部分の特徴を Table 1 に示す。IP 検出面の大きさは 20 cm × 25 cm と 20 cm × 40 cm の二種類があり、厚さは約 0.5 mm である。画像読取装置は画像読取部、デジタル画像処理部、磁気記録装置、画像再生部および画像プリンタなどから成っている (Fig. 2)。

放射線照射により一次励起を受けた IP は画像読取部においてヘリウム・ネオンレーザーによる二次励起を受ける。バリウム・フロロ・ブロマイドに対する励起スペクトルは、400 nm から 800 nm まで広く分布しており、輝尽発光スペクトルは 390 nm にピークを持っている (Fig. 3)。ヘリウム・ネオンレーザーは、633 nm 付近にピークを持っているため、励起スペクトルとの整合性がよく、発光スペクトルとの波長分離性がよい。したがって画像の再生システムを設計する場合に有利な特性となり、高 SN 比を得ることができる<sup>5)</sup>。レンズ系で細く集光されたレーザー光の向きは、振動ミラーにより変化させ、IP 上で直線的な走査を行い、同時に走査方向に対して垂直に IP を移動させる。このようにして IP 上に記憶された二次元放射線像を  $(100 \mu\text{m})^2$  または  $(200 \mu\text{m})^2$  の画素単位で照射する。各画素の PSL はアクリル樹脂製集光ガイドを通して光電子増倍管に導かれ、IP 上の各画素の位置に対応した時系列の電気信号として取り出される。この信号がデジタルデータに変換され、画像処理部に送られて目的に応じた種々の画像処理が施される。処理されたデータは、二次元放射線像として CRT 上に再生されるとともに、多種類の画像解析機能によりデータ処理される。また、デジタルデータは磁気テープ、フロッピーディスクや光ディスクに記録することができる。

### 2.2 機器の性能

バリウム・フロロ・ブロマイドが発する PSL の寿命は  $0.8 \mu\text{s}$  と短く、1 画素あたりの走査速度は  $14 \mu\text{s}$  であるため、高い効率で輝尽発光を検出することができる。画像全領域を収録するために必要とする時間は、20 cm × 25 cm の大きさの IP について  $1.25 \times 10^6$  画素または  $5.0 \times 10^6$  画素を読み取ることになるため 18 秒または 70 秒であるが、写真乳剤の現像過程に要する時間と比較すれば大幅な時間短縮となっている。

また、IP 感度の直線性が特性 X 線の照射により検討され、入射 X 線光子数が 8 photons ~  $4 \times 10^4$  photons /  $(100 \mu\text{m})^2$  の領域において、誤差 ± 5% の範囲内で直線的な応答を示すことが報告されている<sup>6)</sup>。

本機器の出力は、その大きさに応じた 8 色のカラーで CRT 上に表示される (16 色表示および



黑白 256 階調表示もある)。カラーレベルの上限と下限を任意に設定すれば、その間が出力の大きさに応じて 6 色に分けられ、上限以上と下限以下がそれぞれ 1 色、合計 8 色で表示されるため、放射能あるいは放射線量の分布状態を視覚的に評価しやすい。また、黑白 256 階調表示にすれば、従来の写真フィルムの画像と同質の出力画像を得ることができる。

出力を定量的に評価する場合には、求めようとする画像領域を正方形または任意の図形で指定すれば、その合計出力および単位面積あたりの出力が計算される。カラー表示の二次元放射線像ならびに解析されたデータはレーザープリンタにより打ち出すことができる。出力の単位として使用されている AU (Arbitrary Unit) は、80 keV の X 線 3.87 pC/kg の照射線量に対する  $1 \text{ mm}^2$  あたりの出力と定義されている。

### 3. 測 定

IP 上に記憶された放射線像を定量的に評価するためには、照射を開始した時から収録を終了するまでの間に発生したフェーディングによる出力減少を評価し、求められた放射線像出力を補正しなければならない。その量は IP を保存した環境の温度および経過期間に依存する。現実の使用状況に準じた条件を選定し、各条件下におけるフェーディング量を評価するために、次に示す手順で実験を行った。

- 1) IP 感度の位置依存性の評価
- 2) フェーディングの線質依存性の検討
- 3) 使用線源の絶対出力測定
- 4) 環境温度および経過期間によるフェーディング量の測定

#### 3.1 IP 感度の位置依存性

フェーディング量の測定においては、1 枚の IP 上に経過期間の異なる複数の放射線像を記憶させ、一定温度に保存する方式をとる。これらの放射線像出力を相対的に評価するためには、IP 感度の位置依存性を求めておかなければならない。使用する 4 枚の IP ( $20 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ ) についてこれを求めた。

$\text{Co } 60 \text{ } \gamma$  線源の照射により作られた、均一な照射線量率場において、 $2 \mu\text{C}/\text{kg}$  の線量を IP に照射した。読取装置にかけて求められた放射線像を Fig. 4 に示す。全領域を 120 の区画に分割し、1 区画 ( $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ ;  $4 \times 10^4$  画素) についての平均出力を Table 2 に示した。各区画の出力は平均値に対して  $\pm 3.7\%$  のばらつきを持っている。IP 感度の位置による不均一性の理由は、読取装置でのレーザー光走査時に、IP と振動ミラーとの間の距離により変化するためであるとの報告がある<sup>7)</sup>。同一条件で  $2 \mu\text{C}/\text{kg}$  の線量を照射した IP を走査方向を反転させて読取装置にかけたところ、得られた放射線像は正常の走査方向で求められた像と同一であった。このことから、IP 感度に位置依存性が存在するのは、IP 自体の不均一性ではなく、読取装置の走査機構に依存したばらつきであることが確認された。実験に使用した 4 枚の IP についての放射線

黑白 256 階調表示もある)。カラーレベルの上限と下限を任意に設定すれば、その間が出力の大きさに応じて 6 色に分けられ、上限以上と下限以下がそれぞれ 1 色、合計 8 色で表示されるため、放射能あるいは放射線量の分布状態を視覚的に評価しやすい。また、黑白 256 階調表示にすれば、従来の写真フィルムの画像と同質の出力画像を得ることができる。

出力を定量的に評価する場合には、求めようとする画像領域を正方形または任意の図形で指定すれば、その合計出力および単位面積あたりの出力が計算される。カラー表示の二次元放射線像ならびに解析されたデータはレーザープリンタにより打ち出すことができる。出力の単位として使用されている AU (Arbitrary Unit) は、80 keV の X 線 3.87 pC/kg の照射線量に対する  $1\text{mm}^2$  あたりの出力と定義されている。

### 3. 測 定

IP 上に記憶された放射線像を定量的に評価するためには、照射を開始した時から収録を終了するまでの間に発生したフェーディングによる出力減少を評価し、求められた放射線像出力を補正しなければならない。その量は IP を保存した環境の温度および経過期間に依存する。現実の使用状況に準じた条件を選定し、各条件下におけるフェーディング量を評価するために、次に示す手順で実験を行った。

- 1) IP 感度の位置依存性の評価
- 2) フェーディングの線質依存性の検討
- 3) 使用線源の絶対出力測定
- 4) 環境温度および経過期間によるフェーディング量の測定

#### 3.1 IP 感度の位置依存性

フェーディング量の測定においては、1 枚の IP 上に経過期間の異なる複数の放射線像を記憶させ、一定温度に保存する方式をとる。これらの放射線像出力を相対的に評価するためには、IP 感度の位置依存性を求めておかなければならない。使用する 4 枚の IP ( $20\text{cm} \times 25\text{cm}$ ) についてこれを求めた。

$\text{Co } 60 \gamma$  線源の照射により作られた、均一な照射線量率場において、 $2\ \mu\text{C}/\text{kg}$  の線量を IP に照射した。読取装置にかけて求められた放射線像を Fig. 4 に示す。全領域を 120 の区画に分割し、1 区画 ( $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ ;  $4 \times 10^4$  画素) についての平均出力を Table 2 に示した。各区画の出力は平均値に対して  $\pm 3.7\%$  のばらつきを持っている。IP 感度の位置による不均一性の理由は、読取装置でのレーザー光走査時に、IP と振動ミラーとの間の距離により変化するためであるとの報告がある<sup>7)</sup>。同一条件で  $2\ \mu\text{C}/\text{kg}$  の線量を照射した IP を走査方向を反転させて読取装置にかけたところ、得られた放射線像は正常の走査方向で求められた像と同一であった。このことから、IP 感度に位置依存性が存在するのは、IP 自体の不均一性ではなく、読取装置の走査機構に依存したばらつきであることが確認された。実験に使用した 4 枚の IP についての放射線

像は同一の分布を示し、相互間の感度のばらつきは  $\pm 0.5\%$  以下であった。以後の実験で求められる放射線像出力は、使用した IP 上の位置に応じて、Table 2 に示される感度補正係数を用いて補正した値である。

### 3.2 フェーディングの線質依存性

フェーディング現象の発生は、一次励起後の捕獲電子の安定性に起因するものであり、励起に用いられた放射線の種類やエネルギーには依存しない。本機器の測定対象として使用する可能性をもつ 3 種類の放射線について、一次励起後の経過時間による出力の減少を測定し、この事実を確認する必要がある。フェーディングは照射開始と同時に発生するため、どの線質についても同じ照射時間を採用し、照射後読取装置にかけるまでの時間も等しくしなければならない。使用した線源はほぼ同一レベルの出力を示すように試料調整された Tl 204 ( $\beta$  線)、C14 ( $\beta$  線) および Co 60 ( $\gamma$  線) である。同一 IP 上にこの 3 種類の線源を常温 ( $25^\circ\text{C}$ ) で 5 分間照射し、読み取るまでの経過時間を変化させて、それぞれの出力を読み取った。照射終了直後の出力を 100% とし、それぞれの線質の経過時間ごとの相対出力を Fig. 6 に示す。この結果からフェーディング量は一次励起を生じさせた放射線の種類やエネルギーには依存しないことが確認された。従って、特定の放射線を使用して得られたフェーディング特性を、他の線質に適用することができる。

### 3.3 使用線源の絶対出力

フェーディングの存在しない状態における出力がフェーディング量を評価する基準となる。これを絶対出力と呼ぶ。IP への照射を開始した時からフェーディングは発生しているため、絶対出力を直接測定することは不可能である。照射時間を変化させて出力を測定し、出力と照射時間の関係を最小自乗法による近似で決定するとき、照射時間零に相当する出力はフェーディングを含まない絶対出力と評価してよいであろう。

線質による依存性が無いことが確認されたために、使用する線源の種類は任意であるが、本実験には  $\beta$  線源を採用した。使用した線源は C14 が均一にポリマーアクリルにラベルされたディスク状のプラスチック線源 ( $25\text{ mm}\phi$ ,  $1\text{ mm}$  厚: Amersham 製) である。IP 上に位置を定めて C14 線源の照射を行い、照射時間と単位面積、単位時間についての平均出力の関係を Fig. 6 に示した。最小自乗法近似により決定された絶対出力は  $248.7\text{ AU}/(\text{mm}^2 \cdot \text{h})$  であった。

放射線像出力の絶対測定を行う場合には、本機器出力の放射線感度が必要とされる。そのため C14 線源の  $\beta$  線放出率を  $2\pi$  ガスフローカウンタ (Aloka: FC-17T-1 型) で絶対測定して、単位面積、単位時間についての  $\beta$  線放出数を求めた。汚染防止のために線源を  $0.36\text{ mg}/\text{cm}^2$  のプラスチック薄膜で覆った状態での測定結果は  $19570\beta(\text{min} \cdot \text{cm}^2)$  である。従って、絶対出力との比較により求められる IP の C14  $\beta$  線に対する感度は AU 単位が  $47.21\beta$  に相当する。同様に、Tl204 の  $\beta$  線については、 $363174\beta$  に対して  $51203\text{ AU}$  が測定されたことから、IP の Tl204 -  $\beta$  線に対する感度は AU 単位が  $7.09\beta$  に相当する。また、 $\gamma$  線に関しては 3.1 項に示される IP 感度の位置依存性に関する測定から、Co60 の  $\gamma$  線に対して  $3.62\text{ pC}/\text{kg}$  が  $\text{AU}/\text{cm}^2$  単位に相当

することが決定された (Table 3)。

### 3.4 フェーディングの測定

C14 ポリマーアクリル線源を使用して IP 上に二次元放射線像を記憶させ、保存する環境の温度および経過期間を変化させて放射線像出力を測定した。測定に使用した IP の形状は 20 cm × 25 cm である。照射時間はすべて 1 時間とし、照射後の環境温度には現実に使用する可能性のある温度範囲の中から 10 °C、20 °C、30 °C および 40 °C を選択し、IP をそれぞれの恒温槽中に保管した。経過期間は 1 日以下の短期間 (1、3、5、10、15、20 時間) と 1 日以上 の長期間 (1、2、4、6、8、10、12、14 日間) に分け、それぞれ別の IP に照射して保管した。同一温度については短期間と長期間で同一の IP を使用したので、合計 4 枚の IP を使用した。IP への線源の照射は経過期間が等しい場合には、同じ位置になるように定めた (Fig. 7)。これらの IP は、経過期間に達した後に所定の条件のもとで読み取った。求められた放射線像出力は、3.1 項で求められ、Table 2 に示される位置による感度補正係数を使用して補正した。照射および収録の条件は次に示す通りである。なお、経過期間は照射を開始した時を零とした。

#### 〔測定条件〕

IP への照射とその保存および収録の条件は、像出力に大きな影響を与えるため、実験はすべて同一の条件のもとで行わなければならない。

- 1) 使用に先立ち IP 表面を専用クリーナーで清浄化し、画像読取部に付属する消光装置により 10 分間の残像除去処理を行った。
- 2) 除去処理を行った IP は、直ちに所定の温度に保たれた恒温槽内に保管し、IP の温度が平衡に達する 10 分後から C14 線源による 1 時間の照射を開始した。
- 3) 保管中または照射終了後の IP には自然放射線以外の放射線が照射されないよう配慮した。
- 4) 保管中または照射終了後の IP は可視光線の露光により発生するフェーディングを防ぐため、常に遮光状態で取扱った。
- 5) 経過期間に達した IP は恒温槽から取り出し、室温 (25 °C) と平衡になる 10 分後から読取装置による収録を開始した。

測定結果は各 IP ごとに二次元放射線像として求められた。一例として短期間で 10 °C に保存した場合の出力像を Fig. 8 に示す。実際の出力像はカラー表示であり、経過期間が長くなるにつれ赤色 (高出力) から青色 (低出力) に変化している。画像処理機能の内の定量解析モードを使用すれば、指定した任意の領域について、その部分の積算出力および単位面積についての平均出力が計算される。Fig. 8 に示される出力像を定量した結果を表 4 に示す。経過期間 (時間) ごとに求められた単位面積についての平均出力 ( $AU/mm^2$ ) と、絶対出力に対する出力比 (%) を示した。この出力比がフェーディングによる出力の減少を補正するための感度補正係数に外ならない。求められた放射線像の平均出力を感度補正係数で除すことによって、その像の絶対出力を求めることができる。

## 4. 測定結果

環境温度および経過期間ごとに求められた平均出力値と絶対出力値（フェーディングのない出力）の比較から感度補正係数を求め、各温度ごとに経過期間の関数として感度補正式を決定した。

### 4.1 感度補正係数の決定

短期間経過（1時間 $\leq t \leq 20$ 時間）の場合と長期間経過（1日間 $\leq T \leq 14$ 日間）の場合に分けTable 5に示した。横軸に経過期間を縦軸に感度補正係数をとって、各温度ごとにグラフ化しFig.9に示した。短期間経過の場合の出力は、照射から5時間を経過するまでに急激な減少を示し、以後はゆるやかな傾斜で減少している。長期間経過の場合も同様の傾向であり、3日間を経過するまでに急激な減少を示し、以後はゆるやかな傾斜で減少している。室温（25℃）では5時間後では73.7%，3日後では56.5%である。40℃で14日間経過した場合には23.3%にまで減少している。

### 4.2 感度補正式の決定

IPに記憶された放射線像出力のフェーディングによる減少を環境温度と経過期間を変えて測定し、各状況ごとに求められた結果から感度補正係数を、4次元最小自乗法近似により経過期間の関数として求めた。

#### a. 短期間経過の感度補正式

$$f_{10} = 98.9010 - 6.86204 t + 0.688204 t^2 - 0.0336935 t^3 + 6.21337 \times 10^{-4} t^4 \quad (1)$$

$$f_{20} = 97.4567 - 7.29777 t + 0.740982 t^2 - 0.0360503 t^3 + 6.60688 \times 10^{-4} t^4 \quad (2)$$

$$f_{30} = 98.1237 - 8.98222 t + 0.976531 t^2 - 0.0486359 t^3 + 8.92524 \times 10^{-4} t^4 \quad (3)$$

$$f_{40} = 96.2644 - 11.4918 t + 1.414980 t^2 - 0.0747460 t^3 + 1.48176 \times 10^{-4} t^4 \quad (4)$$

但し、 $f_x$  は環境温度  $x$  (°C) における感度補正係数 (%)

$t$  は経過期間 (時間:  $1 \leq t \leq 20$ )

#### b. 長期間経過の感度補正式

$$F_{10} = 70.4311 - 6.33204 T + 1.233480 T^2 - 0.1058570 T^3 + 3.15333 \times 10^{-3} T^4 \quad (5)$$

$$F_{20} = 68.5380 - 5.71015 T + 0.872379 T^2 - 0.0663833 T^3 + 1.76954 \times 10^{-3} T^4 \quad (6)$$

$$F_{30} = 67.9061 - 6.31685 T + 0.939246 T^2 - 0.0764000 T^3 + 2.23012 \times 10^{-3} T^4 \quad (7)$$

$$F_{40} = 67.8720 - 13.0098 T + 1.885200 T^2 - 0.1322630 T^3 + 3.41193 \times 10^{-3} T^4 \quad (8)$$

但し、 $F_x$  は環境温度  $x$  (°C) における感度補正係数 (%)

$T$  は経過期間 (日:  $1 \leq T \leq 14$ )

バイオイメージアナライザーにより求められた二次元放射線像の出力から、像を形成した試料の放射能密度を定量化する手順を以下に示す。

〔出力像の定量化〕

- 1) 定量する領域の平均出力  $X$  ( $\text{AU}/\text{mm}^2$ ) を求める。
- 2) 使用した領域の位置による感度の補正係数  $A$  (%) を求める。
- 3) 環境温度および経過期間に対応する感度補正係数  $B$  (%) を, (1)~(8)に示される感度補正式から求める。
- 4) 線質による放射線感度を  $S$  (個数/AU) とし, 放出確率を 1 とする。
- 5) 照射時間を  $t$  (s) とする。
- 6) 試料の単位面積についての放射能  $Q$  ( $\text{Bq}/\text{mm}^2$ ) は次式により算定される。

$$Q = 10^4 \cdot X \cdot S / (A \cdot B \cdot t) \quad (9)$$

## 5. 検 討

### 5.1 感度補正式の精度

感度補正式に各経過期間を代入して求められた補正係数を Table 6 に示した。計算値と測定値との差を, 計算値に対する%比率で表わした変異比率  $\delta$  は最大 1.5% であり, 56 測定値の内 52 測定値が 1% 以下で, その内 36 測定値は 0.5% 以下である。従って, この補正式を使用することにより, 高精度でフェーディングを補正できることが確認された。

### 5.2 長時間照射のフェーディング評価

この実験で求められた感度補正式は, 照射時間が 1 時間という前提条件のもとで決定された式であるため, 任意の照射時間について適用することができない。しかし, 求められた補正式(1)~(8)を時間積分することにより, 任意時間照射した直後に読み取ると仮定した場合の積算出力を計算することが可能である。これを照射時間で除して長時間の連続照射を行った時の感度補正式を求めることができる。今, 1 時間照射についての感度補正式を次式で表すとき

$$f_x(t) = a + bt + ct^2 + dt^3 + et^4 \quad (10)$$

$$F_x(T) = A + BT + DT^2 + ET^3 + ET^4 \quad (11)$$

但し,  $f_x$ ,  $F_x$  は環境温度  $x$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) における感度補正係数 (%)

$t$ ,  $T$  は経過期間 (時間, 日)

短期間経過に関する感度補正式から評価する場合には, 保存開始時間を 1 時間照射の中間である 0.5 時間とし,  $t$  時間の照射が終了する ( $t + 0.5$ ) 時間まで(10)式を積分して積算出力を求め, それを照射時間で除すことにより単位時間についての平均出力, 即ち感度補正式を求めることができる。長期間経過に関する感度補正式から評価する場合には時間の単位として日を取り,  $1/48$  日から  $(T + 1/48)$  日まで(11)式を積分し, 照射時間で除すことにより単位日についての平均出力が求められる。長時間の連続照射に関する感度補正式の一般式  $g_x$  および  $G_x$  を次に示す。

〔出力像の定量化〕

- 1) 定量する領域の平均出力  $X$  (AU/mm<sup>2</sup>) を求める。
- 2) 使用した領域の位置による感度の補正係数  $A$  (%) を求める。
- 3) 環境温度および経過期間に対応する感度補正係数  $B$  (%) を, (1)~(8)に示される感度補正式から求める。
- 4) 線質による放射線感度を  $S$  (個数/AU) とし, 放出確率を 1 とする。
- 5) 照射時間を  $t$  (s) とする。
- 6) 試料の単位面積についての放射能  $Q$  (Bq/mm<sup>2</sup>) は次式により算定される。

$$Q = 10^4 \cdot X \cdot S / (A \cdot B \cdot t) \quad (9)$$

## 5. 検 討

### 5.1 感度補正式の精度

感度補正式に各経過期間を代入して求められた補正係数を Table 6 に示した。計算値と測定値との差を, 計算値に対する%比率で表わした変異比率  $\delta$  は最大 1.5% であり, 56 測定値の内 52 測定値が 1% 以下で, その内 36 測定値は 0.5% 以下である。従って, この補正式を使用することにより, 高精度でフェーディングを補正できることが確認された。

### 5.2 長時間照射のフェーディング評価

この実験で求められた感度補正式は, 照射時間が 1 時間という前提条件のもとで決定された式であるため, 任意の照射時間について適用することができない。しかし, 求められた補正式(1)~(8)を時間積分することにより, 任意時間照射した直後に読み取ると仮定した場合の積算出力を計算することが可能である。これを照射時間で除して長時間の連続照射を行った時の感度補正式を求めることができる。今, 1 時間照射についての感度補正式を次式で表すとき

$$f_x(t) = a + bt + ct^2 + dt^3 + et^4 \quad (10)$$

$$F_x(T) = A + BT + DT^2 + ET^3 + ET^4 \quad (11)$$

但し,  $f_x$ ,  $F_x$  は環境温度  $x$  (°C) における感度補正係数 (%)

$t$ ,  $T$  は経過期間 (時間, 日)

短期間経過に関する感度補正式から評価する場合には, 保存開始時間を 1 時間照射の中間である 0.5 時間とし,  $t$  時間の照射が終了する ( $t + 0.5$ ) 時間まで(10)式を積分して積算出力を求め, それを照射時間で除すことにより単位時間についての平均出力, 即ち感度補正式を求めることができる。長期間経過に関する感度補正式から評価する場合には時間の単位として日を取り,  $1/48$  日から ( $T + 1/48$ ) 日まで(11)式を積分し, 照射時間で除すことにより単位日についての平均出力が求められる。長時間の連続照射に関する感度補正式の一般式  $g_x$  および  $G_x$  を次に示す。

a. 短期間経過の感度補正式からの評価

$$g_x(t) = \frac{1}{t^{0.5}} \int_0^{t+0.5} f_x(t) dt \quad (12)$$

但し、 $x$  は照射温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )、 $t$  は照射期間 (時間)

b. 長期間経過の感度補正式からの評価

$$G_x(T) = \frac{1}{T^{1/48}} \int_0^{T+1/48} F_x(T) dT \quad (13)$$

但し、 $x$  は照射温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )、 $T$  は照射期間 (日)

各温度ごとに求められた感度補正式を次に示し、横軸に照射期間を縦軸に感度補正係数をとってグラフ化し Fig. 10 に示した。

a. 短時間照射の感度補正式

$$g_{10} = 96.0260 - 3.09940t + 0.212865t^2 - 8.11271 \times 10^{-3}t^3 + 1.24267 \times 10^{-4}t^4 \quad (14)$$

$$g_{20} = 93.9884 - 3.29208t + 0.229299t^2 - 8.68223 \times 10^{-3}t^3 + 1.32138 \times 10^{-4}t^4 \quad (15)$$

$$g_{30} = 93.8160 - 4.02086t + 0.301639t^2 - 0.0117127t^3 + 1.78505 \times 10^{-4}t^4 \quad (16)$$

$$g_{40} = 90.8628 - 5.06672t + 0.434164t^2 - 0.0183777t^3 + 2.96352 \times 10^{-4}t^4 \quad (17)$$

但し、 $g_x$  は照射温度  $x$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) における感度補正式 (%)

$t$  は照射期間 (時間:  $1 \leq t \leq 20$ )

b. 長時間照射の感度補正式

$$G_{10} = 70.3017 - 3.14101T + 0.408957T^2 - 0.0263985T^3 + 6.30666 \times 10^{-4}T^4 \quad (18)$$

$$G_{20} = 68.4194 - 2.83694T + 0.289412T^2 - 0.0165589T^3 + 3.53908 \times 10^{-4}T^4 \quad (19)$$

$$G_{30} = 67.7749 - 3.13881T + 0.311492T^2 - 0.0190535T^3 + 4.46024 \times 10^{-4}T^4 \quad (20)$$

$$G_{40} = 67.6018 - 6.46571T + 0.625647T^2 - 0.0329946T^3 + 6.82386 \times 10^{-4}T^4 \quad (21)$$

但し、 $G_x$  は照射温度  $x$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) における感度補正式 (%)

$T$  は照射期間 (日:  $1 \leq T \leq 14$ )

## 6. 結 論

環境温度が  $10^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$ 、 $30^{\circ}\text{C}$ 、 $40^{\circ}\text{C}$  のもとで、経過時間 1 時間から 14 日間について決定されたフェーディング補正式により、1 時間照射した IP の出力像を定量評価することが可能となった。また、1 時間を超える照射については上式の時間積分により求められた補正式から定量評価することができる。1 時間以内の照射についての出力像と長時間照射後に時間を経て測定された出力像についての定量評価は今後の課題として残されている。

## 謝 辞

本研究にあたり、バイオイメージアナライザーの維持管理に関して多くの適切な御助言を頂いた日本原子力研究所、柴部禎巳氏に感謝致します。



a. 短期間経過の感度補正式からの評価

$$g_x(t) = \frac{1}{t^{0.5}} \int_0^{t+0.5} f_x(t) dt \quad (12)$$

但し、 $x$  は照射温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )、 $t$  は照射期間 (時間)

b. 長期間経過の感度補正式からの評価

$$G_x(T) = \frac{1}{T^{1/48}} \int_0^{T+1/48} F_x(T) dT \quad (13)$$

但し、 $x$  は照射温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )、 $T$  は照射期間 (日)

各温度ごとに求められた感度補正式を次に示し、横軸に照射期間を縦軸に感度補正係数をとってグラフ化し Fig. 10 に示した。

a. 短時間照射の感度補正式

$$g_{10} = 96.0260 - 3.09940t + 0.212865t^2 - 8.11271 \times 10^{-3}t^3 + 1.24267 \times 10^{-4}t^4 \quad (14)$$

$$g_{20} = 93.9884 - 3.29208t + 0.229299t^2 - 8.68223 \times 10^{-3}t^3 + 1.32138 \times 10^{-4}t^4 \quad (15)$$

$$g_{30} = 93.8160 - 4.02086t + 0.301639t^2 - 0.0117127t^3 + 1.78505 \times 10^{-4}t^4 \quad (16)$$

$$g_{40} = 90.8628 - 5.06672t + 0.434164t^2 - 0.0183777t^3 + 2.96352 \times 10^{-4}t^4 \quad (17)$$

但し、 $g_x$  は照射温度  $x$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) における感度補正式 (%)

$t$  は照射期間 (時間:  $1 \leq t \leq 20$ )

b. 長時間照射の感度補正式

$$G_{10} = 70.3017 - 3.14101T + 0.408957T^2 - 0.0263985T^3 + 6.30666 \times 10^{-4}T^4 \quad (18)$$

$$G_{20} = 68.4194 - 2.83694T + 0.289412T^2 - 0.0165589T^3 + 3.53908 \times 10^{-4}T^4 \quad (19)$$

$$G_{30} = 67.7749 - 3.13881T + 0.311492T^2 - 0.0190535T^3 + 4.46024 \times 10^{-4}T^4 \quad (20)$$

$$G_{40} = 67.6018 - 6.46571T + 0.625647T^2 - 0.0329946T^3 + 6.82386 \times 10^{-4}T^4 \quad (21)$$

但し、 $G_x$  は照射温度  $x$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) における感度補正式 (%)

$T$  は照射期間 (日:  $1 \leq T \leq 14$ )

## 6. 結 論

環境温度が  $10^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$ 、 $30^{\circ}\text{C}$ 、 $40^{\circ}\text{C}$  のもとで、経過時間 1 時間から 14 日間について決定されたフェーディング補正式により、1 時間照射した IP の出力像を定量評価することが可能となった。また、1 時間を超える照射については上式の時間積分により求められた補正式から定量評価することができる。1 時間以内の照射についての出力像と長時間照射後に時間を経て測定された出力像についての定量評価は今後の課題として残されている。

## 謝 辞

本研究にあたり、バイオイメージアナライザーの維持管理に関して多くの適切な御助言を頂いた日本原子力研究所、柴部禎巳氏に感謝致します。

a. 短期間経過の感度補正式からの評価

$$g_x(t) = \frac{1}{t^{0.5}} \int_0^{t+0.5} f_x(t) dt \quad (12)$$

但し、 $x$  は照射温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )、 $t$  は照射期間 (時間)

b. 長期間経過の感度補正式からの評価

$$G_x(T) = \frac{1}{T^{1/48}} \int_0^{T+1/48} F_x(T) dT \quad (13)$$

但し、 $x$  は照射温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )、 $T$  は照射期間 (日)

各温度ごとに求められた感度補正式を次に示し、横軸に照射期間を縦軸に感度補正係数をとってグラフ化し Fig. 10 に示した。

a. 短時間照射の感度補正式

$$g_{10} = 96.0260 - 3.09940t + 0.212865t^2 - 8.11271 \times 10^{-3}t^3 + 1.24267 \times 10^{-4}t^4 \quad (14)$$

$$g_{20} = 93.9884 - 3.29208t + 0.229299t^2 - 8.68223 \times 10^{-3}t^3 + 1.32138 \times 10^{-4}t^4 \quad (15)$$

$$g_{30} = 93.8160 - 4.02086t + 0.301639t^2 - 0.0117127t^3 + 1.78505 \times 10^{-4}t^4 \quad (16)$$

$$g_{40} = 90.8628 - 5.06672t + 0.434164t^2 - 0.0183777t^3 + 2.96352 \times 10^{-4}t^4 \quad (17)$$

但し、 $g_x$  は照射温度  $x$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) における感度補正式 (%)

$t$  は照射期間 (時間:  $1 \leq t \leq 20$ )

b. 長時間照射の感度補正式

$$G_{10} = 70.3017 - 3.14101T + 0.408957T^2 - 0.0263985T^3 + 6.30666 \times 10^{-4}T^4 \quad (18)$$

$$G_{20} = 68.4194 - 2.83694T + 0.289412T^2 - 0.0165589T^3 + 3.53908 \times 10^{-4}T^4 \quad (19)$$

$$G_{30} = 67.7749 - 3.13881T + 0.311492T^2 - 0.0190535T^3 + 4.46024 \times 10^{-4}T^4 \quad (20)$$

$$G_{40} = 67.6018 - 6.46571T + 0.625647T^2 - 0.0329946T^3 + 6.82386 \times 10^{-4}T^4 \quad (21)$$

但し、 $G_x$  は照射温度  $x$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) における感度補正式 (%)

$T$  は照射期間 (日:  $1 \leq T \leq 14$ )

## 6. 結 論

環境温度が  $10^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$ 、 $30^{\circ}\text{C}$ 、 $40^{\circ}\text{C}$  のもとで、経過時間 1 時間から 14 日間について決定されたフェーディング補正式により、1 時間照射した IP の出力像を定量評価することが可能となった。また、1 時間を超える照射については上式の時間積分により求められた補正式から定量評価することができる。1 時間以内の照射についての出力像と長時間照射後に時間を経て測定された出力像についての定量評価は今後の課題として残されている。

## 謝 辞

本研究にあたり、バイオイメージアナライザーの維持管理に関して多くの適切な御助言を頂いた日本原子力研究所、柴部禎巳氏に感謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) M. Sonoda, M. Takano, J. Miyahara and H. Kato : Radiology 148, 833 (1983)
- 2) 宮原諄二, 加藤久豊 : 応用物理 53, 884 (1984)
- 3) K. Takahashi, K. Kohda, J. Miyahara, Y. Kanemitsu, K. Amitani and S. Shinohara : J. Lumin. 31/32, 266 (1984)
- 4) K. Takahashi, J. Miyahara, and Y. Shibahar : J. Electrochem. Soc. 132, 1492 (1985)
- 5) 宮原諄二 : 計測と制御 26, 657 (1987)
- 6) J. Miyahara, K. Takahashi, Y. Amemiya, N. Kamiya and Y. Satou : Nucl. Instr. and Meth. A246, 572 (1986)
- 7) 神谷信夫, 雨宮慶幸, 宮原諄二 : 日本結晶学会誌 28, 350 (1986)

Table 1 Component of imaging plate and its properties

SURFACE PROTECTOR	BINDER	SUPPORTER
(qualities) High photo-transmission Prevention for scratch Stableness for radiation and for variation of humidity and temperature Resistibility for bend and friction (thickness) 10 $\mu\text{m}$ for front surface 20 $\mu\text{m}$ for rear surface (material) Polyethyleneterephthalate	(qualities) Glueing ability to photo stimuable phosphor(PSP) Good dispersion for PSP Formation of uniformal thickness Stableness for radiation and for variation of humidity and temperature Flexibility and strongn- ess for mechanical shock (thickness) 150 $\mu\text{m}$ PSP with binder (material) Nitrocellulose, Polyester Polyurethane	(qualities) Protection for PSP Keep plainness of imaging plate Flexibility and strongness for mechanical shock (thickness) 200 $\mu\text{m}$ photoabsorbable film (material) Polyethyleneterephthalate Polyester resin

Table 2 Uniformity of sensitivity for the imaging plate

Area No. <sup>a</sup>	OP(AU/mm <sup>2</sup> ) <sup>b</sup>	$\delta$ (%) <sup>c</sup>	Area No.	OP(AU/mm <sup>2</sup> )	$\delta$ (%)	Area No.	OP(AU/mm <sup>2</sup> )	$\delta$ (%)
1	5397	97.65	41	5492	99.36	81	5624	101.70
2	5396	97.62	42	5477	99.08	82	5633	101.85
3	5358	96.92	43	5440	98.41	83	5639	102.01
4	5409	97.86	44	5428	98.20	84	5628	101.82
5	5415	97.97	45	5453	98.65	85	5742	103.84
6	5407	97.82	46	5459	98.75	86	5746	103.84
7	5364	97.04	47	5462	98.81	87	5762	104.19
8	5371	97.17	48	5453	98.64	88	5770	104.34
9	5399	97.67	49	5530	100.04	89	5753	104.02
10	5400	97.69	50	5558	100.56	90	5721	103.45
11	5409	97.84	51	5573	100.82	91	5677	102.66
12	5412	97.89	52	5565	100.68	92	5660	102.35
13	5433	98.29	53	5578	100.92	93	5687	102.83
14	5430	98.24	54	5547	100.35	94	5677	102.65
15	5468	98.91	55	5512	99.71	95	5660	102.40
16	5445	98.51	56	5494	99.39	96	5641	102.05
17	5436	98.34	57	5525	99.95	97	5730	103.61
18	5429	98.23	58	5528	100.00	98	5720	103.43
19	5393	97.56	59	5527	99.99	99	5761	104.18
20	5391	97.53	60	5510	99.67	100	5750	103.98
21	5422	98.08	61	5608	101.46	101	5728	103.58
22	5422	98.08	62	5614	101.56	102	5694	102.97
23	5427	98.17	63	5643	102.09	103	5663	102.39
24	5425	98.14	64	5635	101.94	104	5642	102.03
25	5456	98.71	65	5637	101.97	105	5658	102.31
26	5456	98.71	66	5607	101.44	106	5643	102.03
27	5464	98.86	67	5573	100.83	107	5630	101.84
28	5473	99.01	68	5567	100.71	108	5621	101.70
29	5433	98.29	69	5587	101.08	109	5698	103.03
30	5433	98.28	70	5587	101.08	110	5713	103.31
31	5392	97.55	71	5601	101.31	111	5749	103.95
32	5395	97.61	72	5582	100.98	112	5733	103.68
33	5434	98.31	73	5670	102.53	113	5704	103.13
34	5436	98.34	74	5673	102.59	114	5674	102.59
35	5433	98.28	75	5699	103.06	115	5650	102.16
36	5431	98.24	76	5703	103.12	116	5627	101.75
37	5488	99.29	77	5690	102.89	117	5650	102.16
38	5494	99.40	78	5655	102.26	118	5633	101.86
39	5499	99.49	79	5626	101.73	119	5616	101.59
40	5516	99.80	80	5607	101.38	120	5597	101.26

a Area No. : Area of imaging plate is divided into 120 sections. Each section is 2cm x 2cm in area.

b OP(AU/mm<sup>2</sup>) : Output value for each area

c  $\delta$  (%) : The percentage for OP value comparing to the average output value (5528AU/mm<sup>2</sup>)

Table 3 Sensitivity of imaging plate for radiation

Radiation	$\beta$	$\beta$	$\tau$
Nuclide	Tl204	C14	Co60
Energy (MeV)	0.763max	0.156max	1.173 - 100%
Emission rate	-97%	-100%	1.332 - 100%
Sensitivity	7.09 $\beta$ /AU	47.21 $\beta$ /AU	3.62pC/(kg·AU/cm <sup>2</sup> )

Table 4 Quantitative analysis for radiation image (f10)

PRESERVATION TIME (h)	OUTPUT <sup>a</sup> [AU/(mm <sup>2</sup> ·h)]	RELATIVE <sup>b</sup> OUTPUT (%)
1	230.79	92.8
3	207.17	83.3
5	194.73	78.3
10	177.82	71.5
15	170.82	68.6
20	166.13	66.8

a OUTPUT [AU/(mm<sup>2</sup>·h)] : Average output value for each area

b RELATIVE OUTPUT (%) : The percentage for each output comparing to the absolute output value [248.7AU/(mm<sup>2</sup>·h)]

Table 5 Calibration factors for sensitivity of imaging plate  
under some preservation temperatures

a. Calibration factors for short preservation

SHORT PRESERVATION (h)	f10 <sup>a</sup> (%)	f20 <sup>a</sup> (%)	f30 <sup>a</sup> (%)	f40 <sup>a</sup> (%)
1	92.8	90.9	90.2	86.2
3	83.3	81.2	78.3	72.3
5	78.3	75.5	72.5	65.8
10	71.5	69.1	66.1	61.1
15	68.6	66.5	64.2	59.2
20	66.8	65.2	62.8	57.7

b. Calibration factors for long preservation

LONG PRESERVATION (d)	F10 <sup>a</sup> (%)	F20 <sup>a</sup> (%)	F30 <sup>a</sup> (%)	F40 <sup>a</sup> (%)
1	65.6	63.9	62.7	56.7
2	61.2	59.6	58.0	48.3
4	59.2	56.1	53.5	38.2
6	58.4	53.8	50.5	34.0
8	57.1	51.9	47.3	30.5
10	55.9	49.6	44.3	44.3
12	54.9	48.0	41.9	25.7
14	54.1	45.3	39.5	23.3

a f<sub>x</sub>, F<sub>x</sub> : Calibration factors for sensitivity under  
preservation temperature x °C. The same factors as shown  
on Table 4 as RELATIVE OUTPUT

Table 6 Calculated values and differences between the calculated values and observed values, expressed by percentage comparing to the observed values

a. Short preservation

PRESERVATION DURATION (h)	f10		f20		f30		f40	
	Calc. <sup>a</sup> (%)	$\delta$ <sup>b</sup> (%)	Calc. (%)	$\delta$ (%)	Calc. (%)	$\delta$ (%)	Calc. (%)	$\delta$ (%)
1	92.7	0.11	90.9	0	90.1	0.12	86.1	0.12
3	83.6	0.36	81.3	0.13	78.7	0.51	72.6	0.42
5	78.0	0.39	75.4	0.14	72.1	0.56	65.5	0.46
10	71.6	0.14	69.1	0	66.2	0.16	61.2	0.17
15	68.6	0	66.5	0	64.1	0.16	59.2	0
20	66.8	0	65.2	0	62.8	0	57.7	0

b. Long preservation

PRESERVATION DURATION (d)	F10		F20		F30		F40	
	Calc. <sup>a</sup> (%)	$\delta$ <sup>b</sup> (%)	Calc. (%)	$\delta$ (%)	Calc. (%)	$\delta$ (%)	Calc. (%)	$\delta$ (%)
1	65.2	0.62	63.6	0.48	62.5	0.32	56.6	0.18
2	61.9	1.14	60.1	0.84	58.5	0.86	48.4	0.21
4	58.9	0.51	55.9	0.36	53.3	0.38	38.4	0.53
6	58.1	0.52	53.6	0.38	50.2	0.60	33.5	1.50
8	57.4	0.53	51.9	0	47.5	0.43	30.7	0.66
10	56.1	0.36	50.0	0.78	44.6	0.68	28.2	1.07
12	54.5	0.74	47.6	0.85	41.6	0.73	25.4	1.19
14	54.2	0.19	45.4	0.23	39.6	0.26	23.4	0.43

a Calc.(%) : Calibration factors for sensitivity calculated by using the equations (1) to (8).

b  $\delta$  (%) : Differences expressed by percentage comparing to the observed values



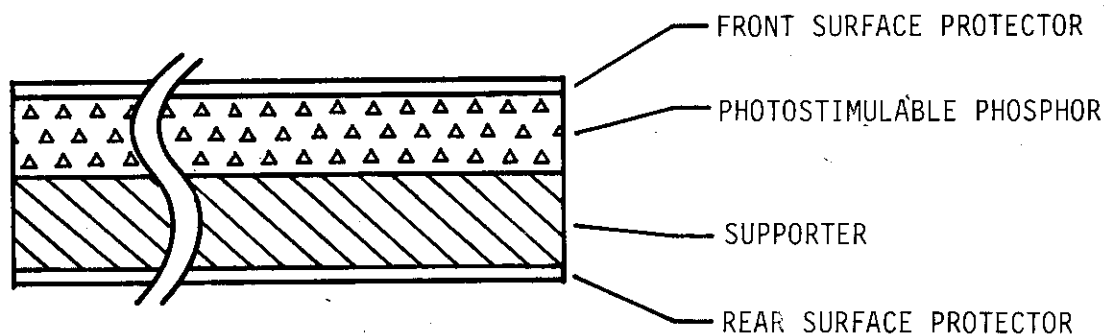


Fig. 1 Crosssection of the imaging plate  
 The imaging plate consists of four layers which are two surface protectors, the photostimulable phosphor with binder and the supporter. Total thickness of the plate is about 0.5mm. It is so flexible that it can be bent cylindrically.

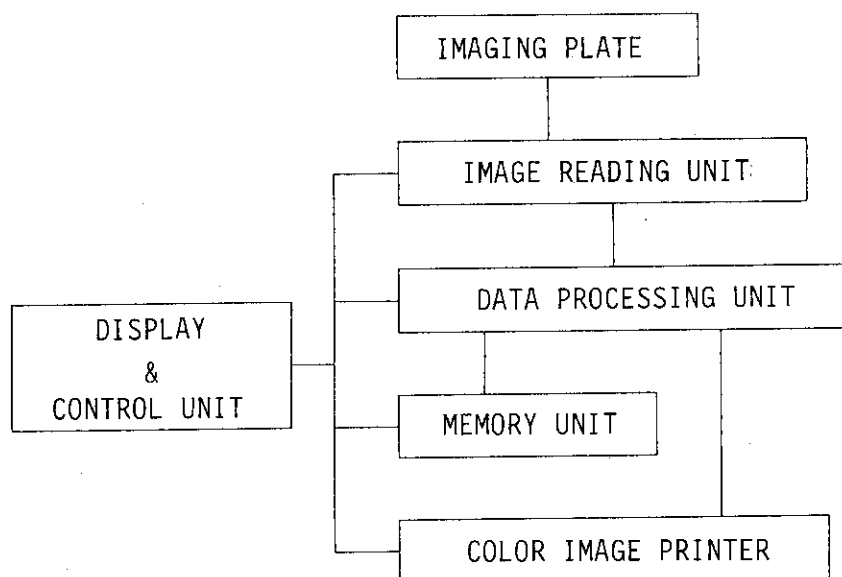


Fig. 2 Constitution of Bio-image analyzer  
 Imaging plate is the detector for two-dimensional radiation image, using fine crystals of photostimulable phosphor on a polyester supporter. Components of the Image reading unit are an IP conveyer, a generator for He-Ne laser, a photo-scanner, a light guide and a photomultiplier tube. The data from the Image reading unit are accumulated in the Data processing unit and the operator conducts various analyses using the Display and Control unit. The accumulated and analyzed data can be recorded on floppy disk or magnetic tape and can be printed out by the Color image printer.

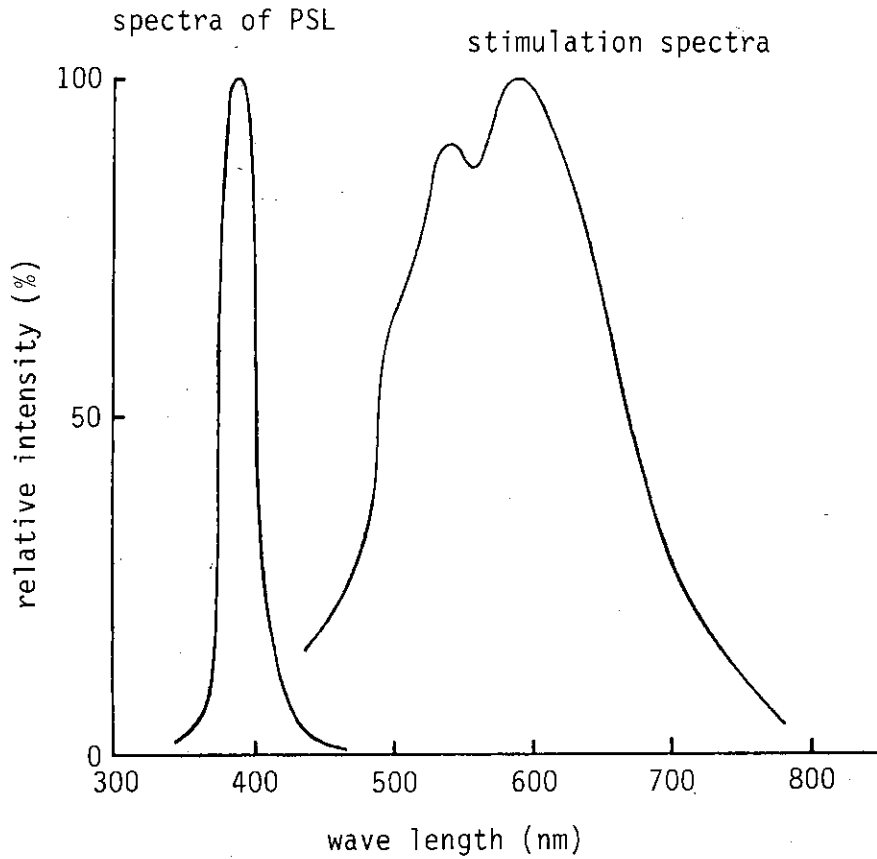


Fig. 3 Stimulation property for BaFBr :  $\text{Eu}^{2+}$   
The PSL emission peak of BaFBr :  $\text{Eu}^{2+}$  stands at 390 nm, while the principal peak of stimulation spectra is formed between 400 nm and 800 nm. Using He-Ne laser beam (633 nm) for the 2nd excitation to PSP, the wavelength of it is well harmonized to the stimulation spectra and also perfectly separated from the PSL emission peak.



Fig. 4 Sensitivity of the imaging plate depending on the position

The Radiation image is shown when IP is irradiated by  $2 \mu\text{C}/\text{kg}$  radiation dose under uniform exposure rate by  $\text{Co}60$ . Although this image is displayed monochromatically, the actual output image is displayed by color graphics. Upper part of the left shows large output printed red. The center part and lower part of the left side show medium output printed yellow. Right side of figure shows small output printed green. The differences of each output do not depend on the difference of sensitivity for IP, but depend on the difference of distance between IP and the photoscanner on reading process. Correctional factors for 120 areas are shown on Table 2 as  $\delta(\%)$ . 2cm square located at the top end of right side is named No.1, while lower end named No.12. The square at the top end of left side is named No.109, while lower end named No.120.

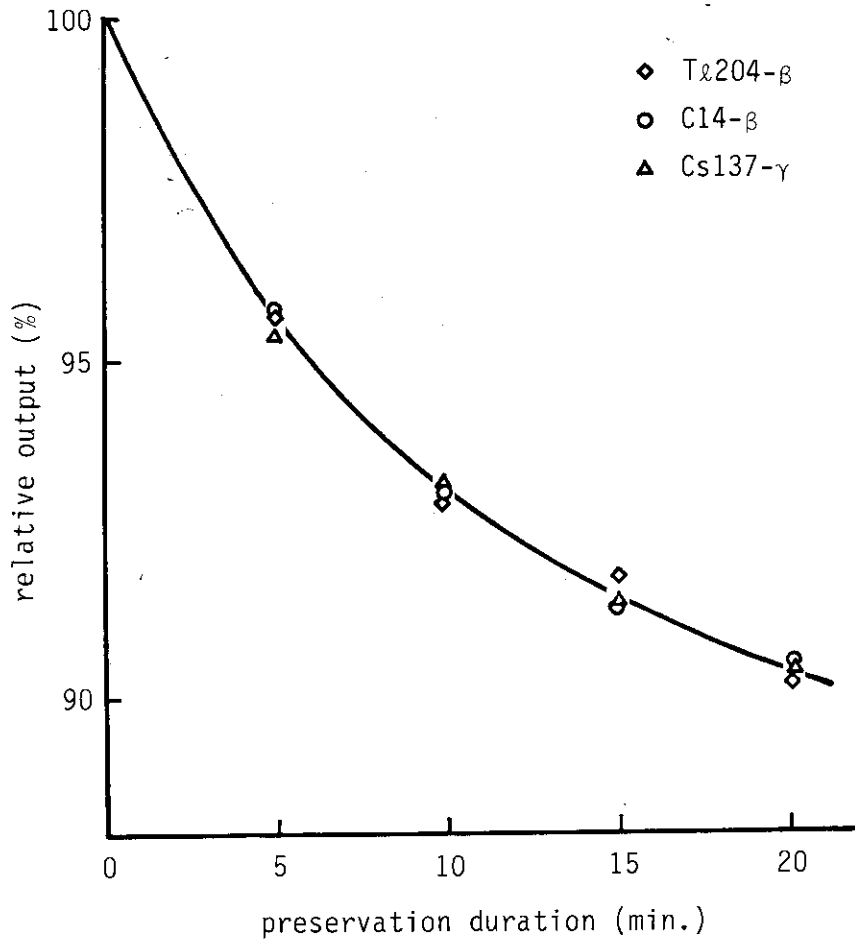


Fig. 5 Relative decrease of output by fading for three kinds of radiation  
For inspecting the differences of fading rate between three kinds of irradiation, IP is irradiated for 5 minutes by those radiation sources with equal activity. Relative decreases of output for them almost coincide to each other for preservation time 5 to 20 minutes. The result shows that the calibration factor for fading decided by some irradiation can be deduced to other radiations.

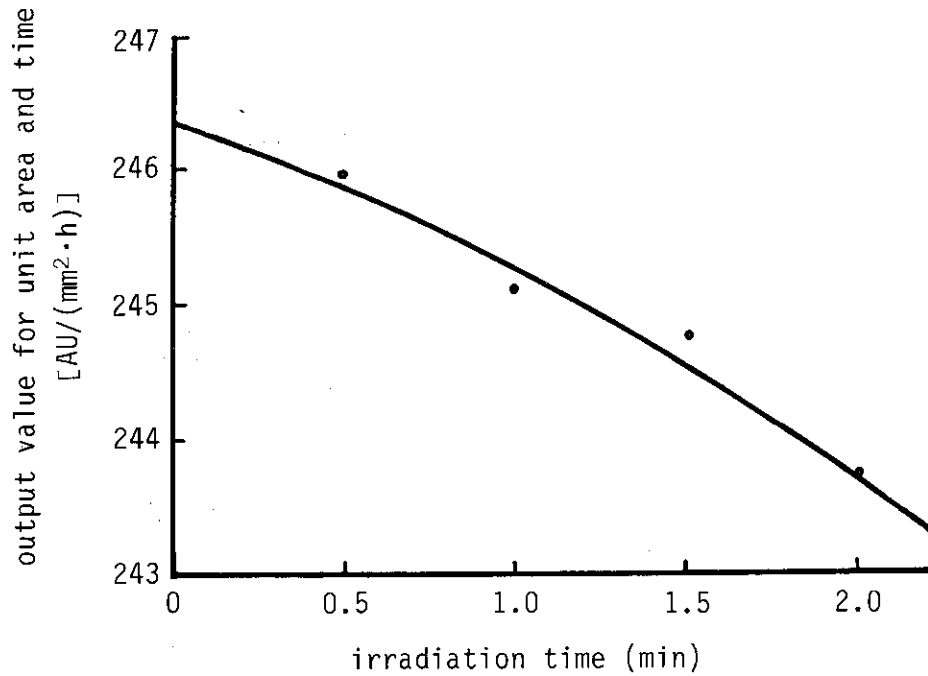
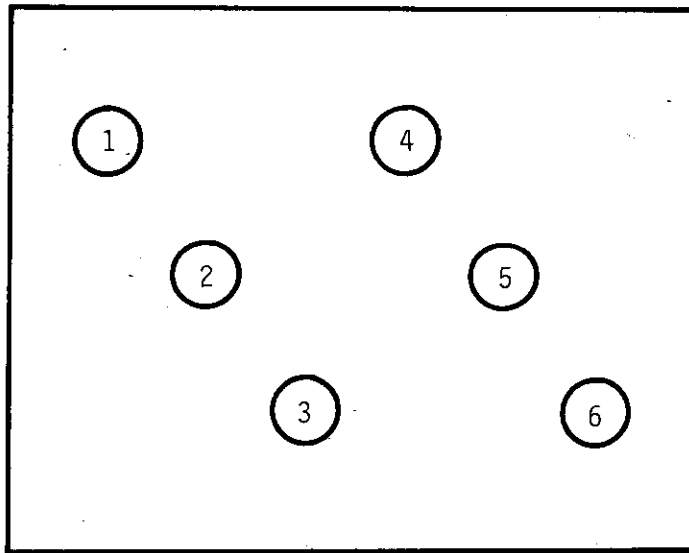


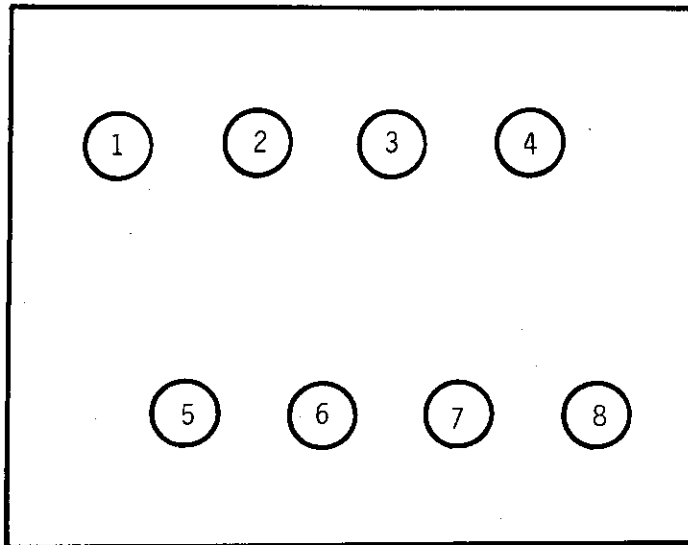
Fig. 6 Estimation for absolute output value  
Standard output value which is not influenced by the fading is estimated. Changing the irradiation time to IP, several outputs are measured and the relation between the irradiation time and the output is decided by the least square method. The intersection for time zero is the standard output value which evaluates the fading rates of various output values.

short preservation



Position number	1	2	3	4	5	6
Preservation time(h)	1	3	5	10	15	20

long preservation



Position number	1	2	3	4	5	6	7	8
Preservation time(d)	1	2	4	6	8	10	12	14

Fig. 7 Irradiation position and its preservation time  
 The shape of IP is 20cm × 25cm, and that of C14 source is 25mm in diameter. IP is irradiated for 1 hour by C14 on 6 positions dispersedly, and preserve 1 hour to 20 hours for short preservation. Another IP is irradiated on 8 positions and preserve 1 day to 14 days for long preservation.

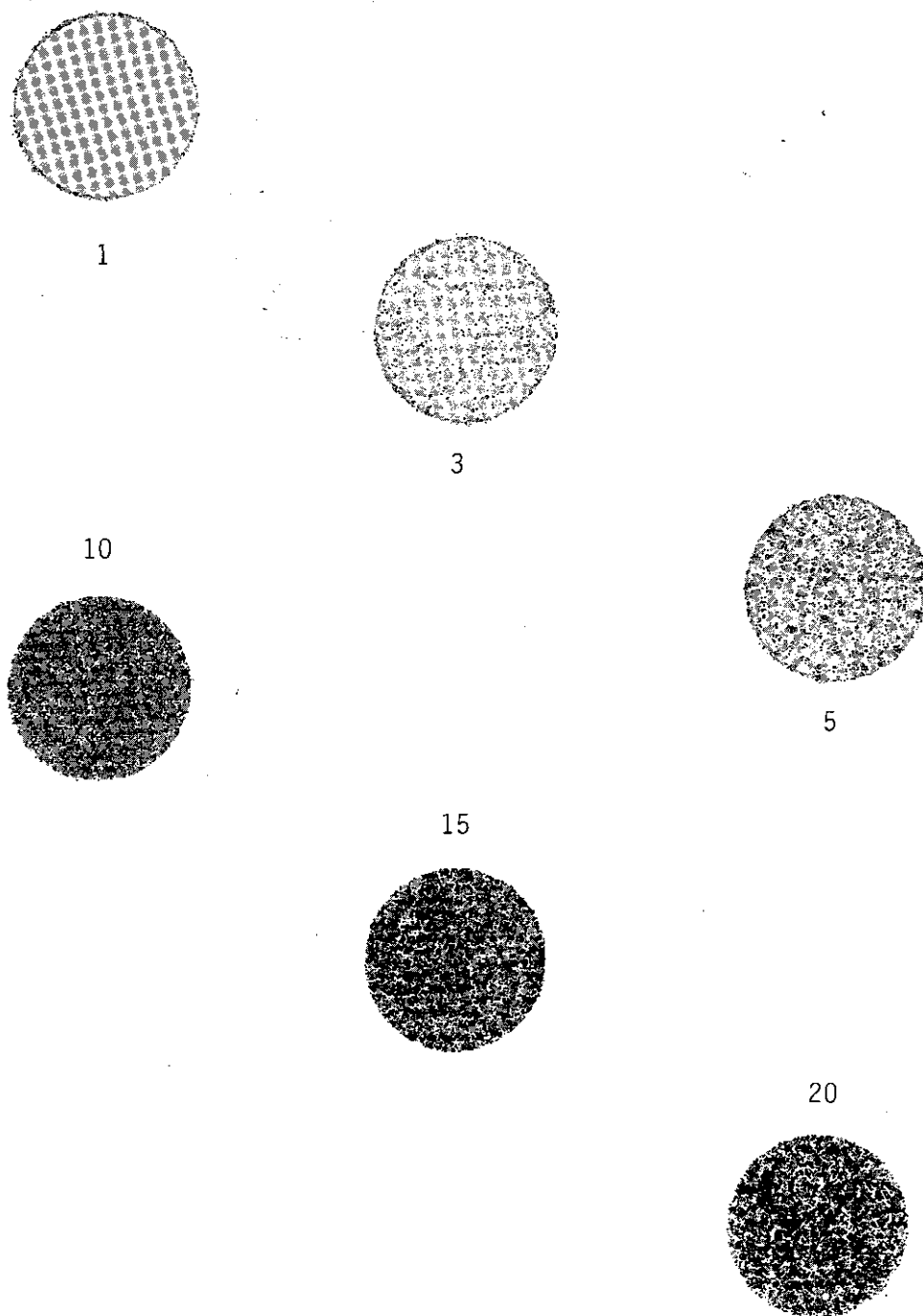


Fig. 8 An example of radiation image recorded on IP  
6 circles are radiation images recorded on IP  
which is preserved 1 hour to 20 hours at 10°C  
after 1 hour irradiation by C14 source. The  
numerical values indicate the preservative  
durations (hour). The color of each image is  
red, orange, yellow, green, purple and blue  
for 1, 3, 5, 10, 15 and 20 hours preservation.

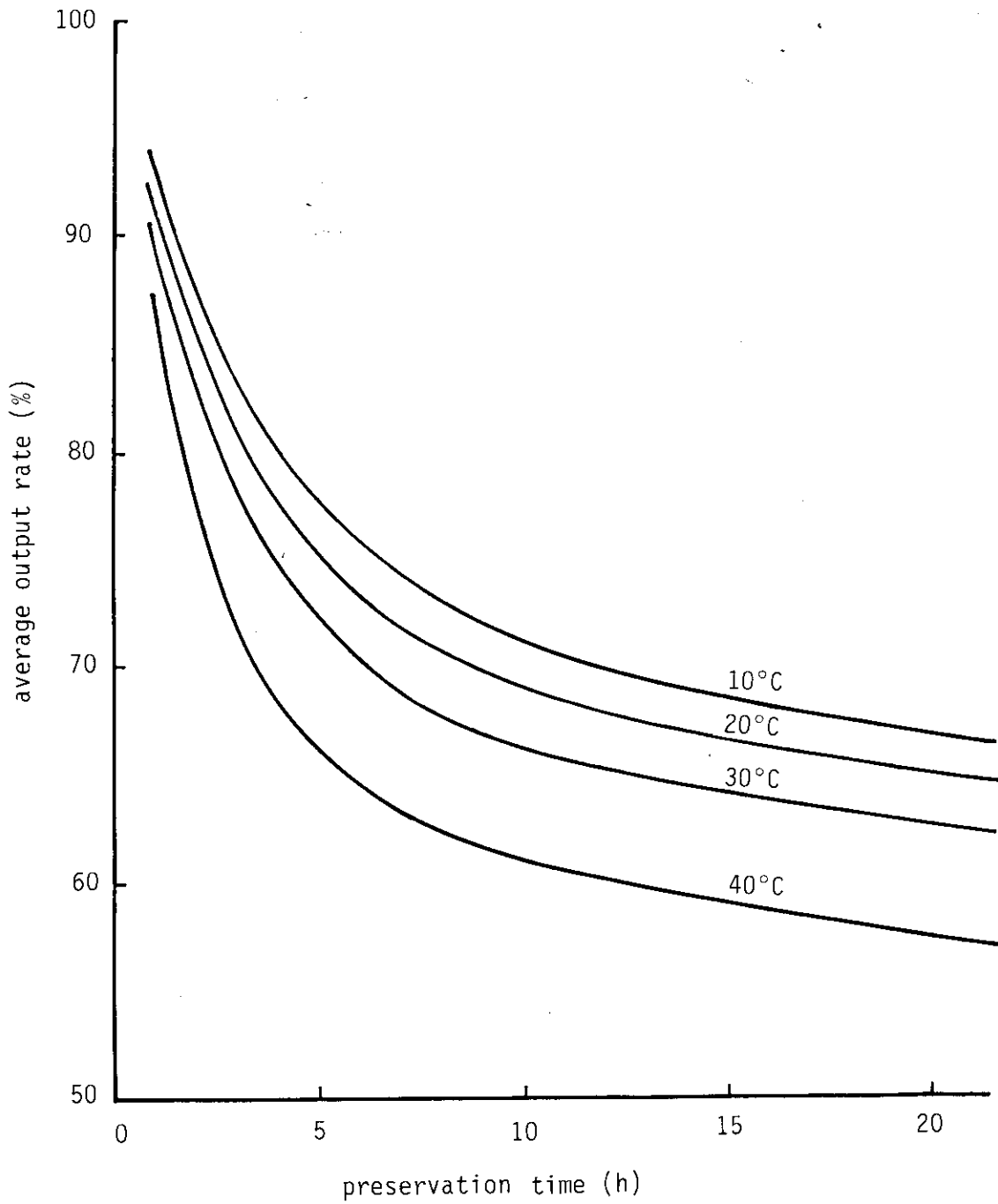


Fig. 9(1) Average output rate comparing to the absolute output value for short preservation



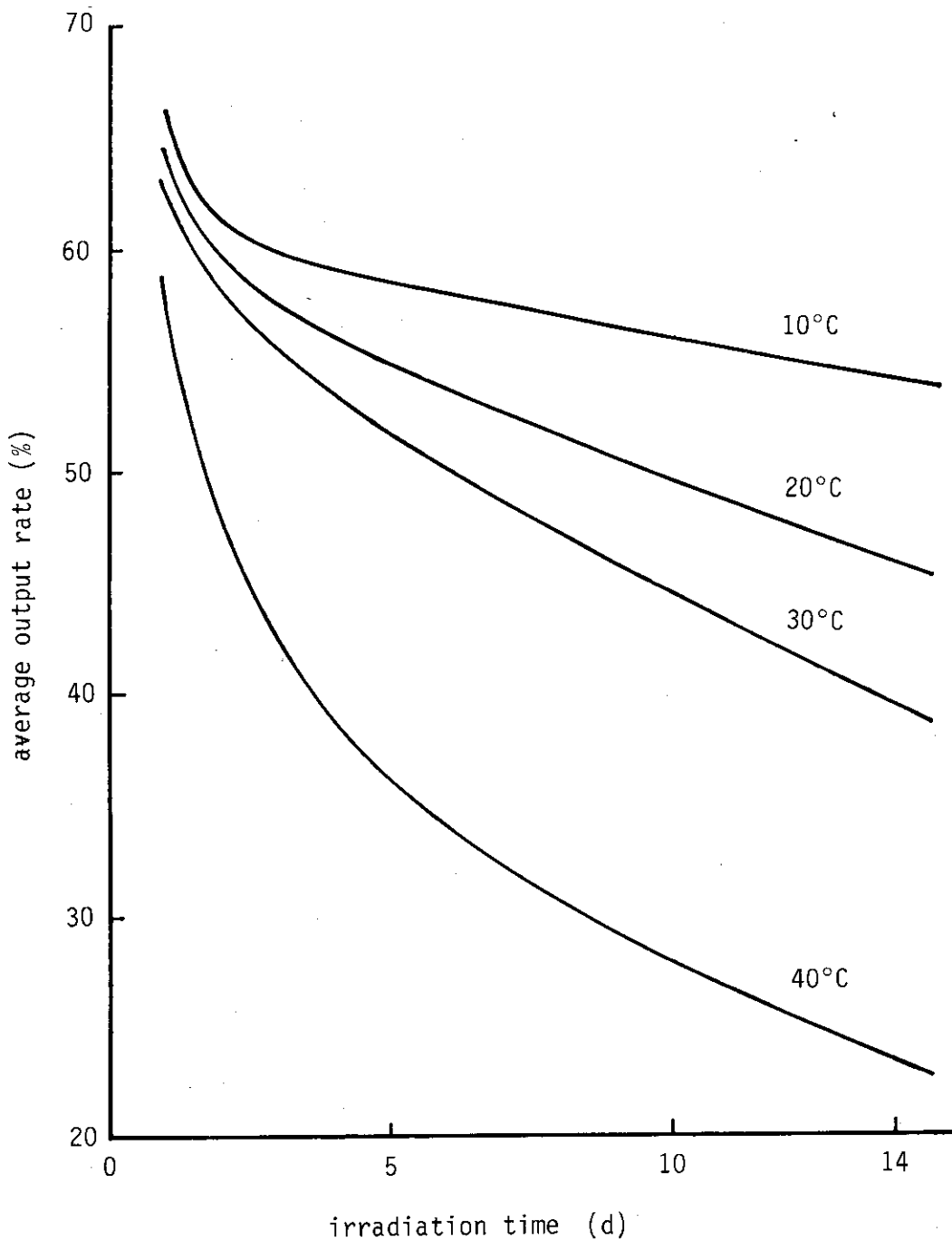


Fig. 9(2) Average output rate comparing to the absolute output value for long preservation  
 The output reductions by fading effect are evaluated. The average output rates comparing to the absolute output are calculated and indicated as the function of some preservative durations for some preservative temperatures. These output rates correspond to the calibration factors for the fading reduction. Relations for short preservation (1 hour to 20 hours) are shown on Fig. 9(1) and long preservation (1 day to 14 days) on Fig. 9(2).

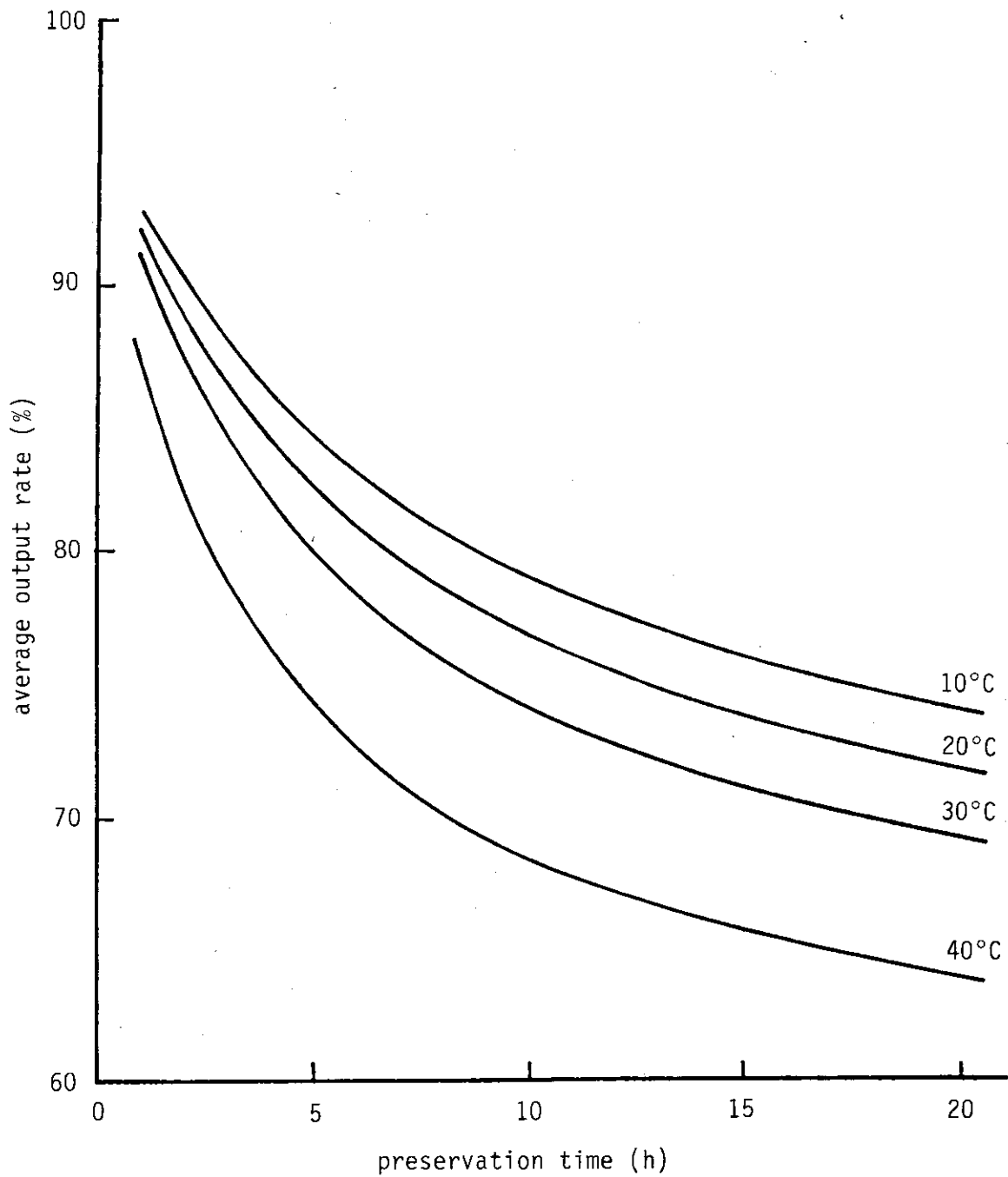


Fig. 10(1) Fading rate evaluation for short time irradiation to IP, calculated by the time integration for  $f_x$

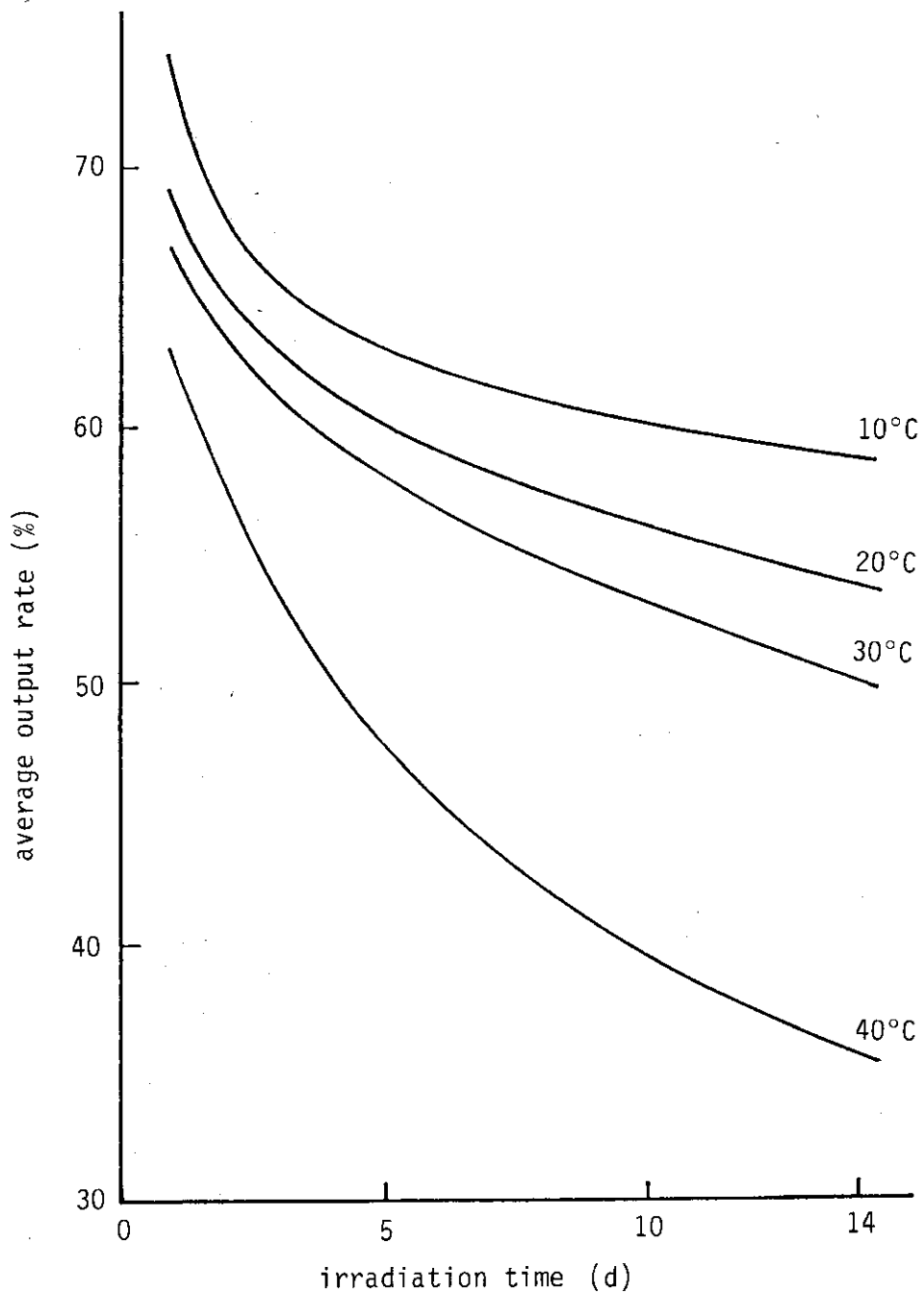


Fig. 10(2) Fading rate evaluation for long time irradiation to IP, calculated by the time integration for  $F_x$ . The outputs for long irradiation time can be calculated by integrating the calibration factor  $f_x$  or  $F_x$  which are expressed as functions of preservation duration. Dividing the integrated value by irradiation time, the calibration factor for long irradiation time can be obtained. The relations between the time and the factor are shown on Fig. 10(1) for 1 hour to 20 hours and also shown on Fig. 10(2) for 1 day to 14 days.