

サブトラクション法 — 被写体の一部の分離像を作る X 線撮影法

Subtraktion - Eine röntgenographische Methode zur separaten Abbildung bestimmter Teile des Objekts

Ziedses des Plantas BG. Fortschr Röntgenstr 52:69-79,1935

基本原理

X 線検査において、簡単な方法で、例えば血管造影のように一瞬だけ陰影をつくり次の瞬間には陰影がなくなるような被写体の各時点での画像を得ることが可能である。その方法を簡単な例で説明する。

まず金属製の数字を並べたものを X 線撮影する (図 1a)。続いて数字 2 を除いたものを撮影する (図 1b)。ここで 2 枚の画像は、1 枚目には数字 2 があり、2 枚目には数字 2 が無い点だけが異なっている。2 枚目の画像から反転画像 (透明陽画, Diapositiv) を作成し (図 1c)、これを 1 枚目 (図 1a) に重ねる。すると数字 2 だけが残って見えるようになる。これをコピーすれば、数字 2 だけの画像が得られる (図 1d)。

この方法によって 2 枚の X 線写真の差分が得られるので、これをサブトラクション法 (差分法) と呼ぶことにする。

これは非常に簡単な例として選んだもので、すべて金属の数字が隣接しており、従って白と黒のみである。金属の数字が部分的に重なっている場合は、さらに複雑になる。この場合、サブトラクション法によって 1 つの数字の分離像を得るには、被写体の X 線吸収率による濃度がフィルムのすべての点で反比例している必要がある。この結果を図 2 に示す。図 2a の左側には、

数字 3, 6, 8, 9 が、右側には数字 1, 2, 4, 5 がうつっている。図 2b は数字 9, 2 除去後の反転画像である。

図 2c は、図 2a に反転画像 2b を重ねたものである。ここでは比較的硬い均一な X 線を使用している。図 2d は不均一な X 線を使用した場合である (これについては理論編を参照されたい)。同様に、2 回の間隔をあけた撮影で、造影剤の流れを分離した画像にできることは明らかである。図 3 には屍体による動脈造影を示す。図 3a は通常の動脈造影である。図 3b はサブトラクション画像、すなわち血管に造影剤が充盈する前に撮影した X 線写真の反転画像を動脈撮影に重ねたものである。実例として、生体の脳室造影のサブトラクション例を示す (図 6)。

技術的詳細

X 線撮影および患者の定位

当然のことながら、サブトラクションする 2 枚の画像 (X 線写真、別の X 線写真の反転画像) は、互いに正確に重ならなければならない。従って、2 回の撮影において患者が X 線管球とフィルムに対して正確に同じ位置にある必要がある。

これを実現する方法は、撮影部位によって異なるが、頭蓋について著者は特別な固定法を使用している。

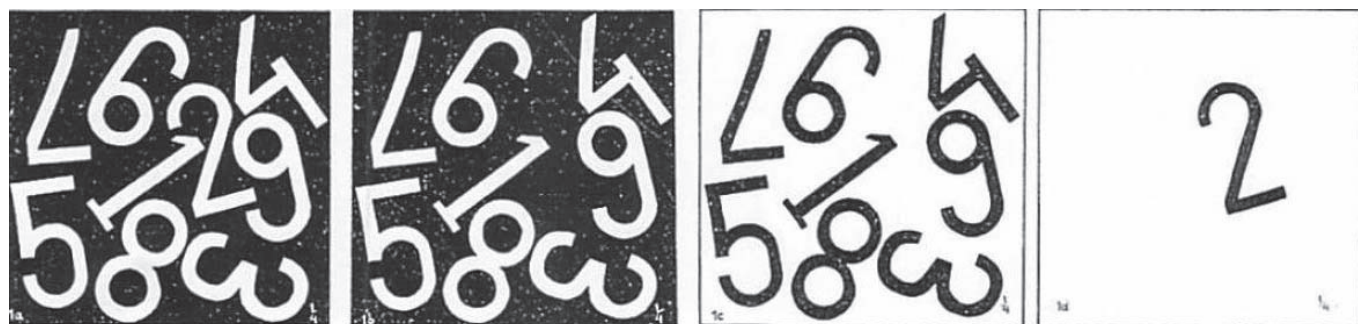


図 1. (a) 金属製の数字を並べたものの X 線写真. (b) 数字 2 を取り除いて撮影したもの. (c) b の反転画像. (d) X 線写真 a と反転画像 c を重ねたもののコピー

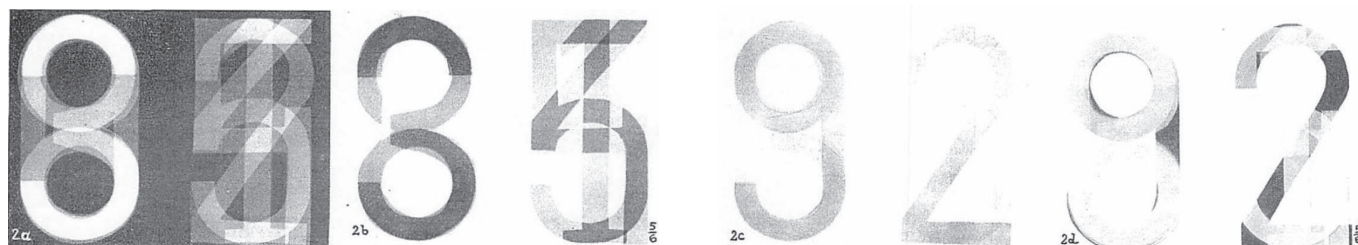
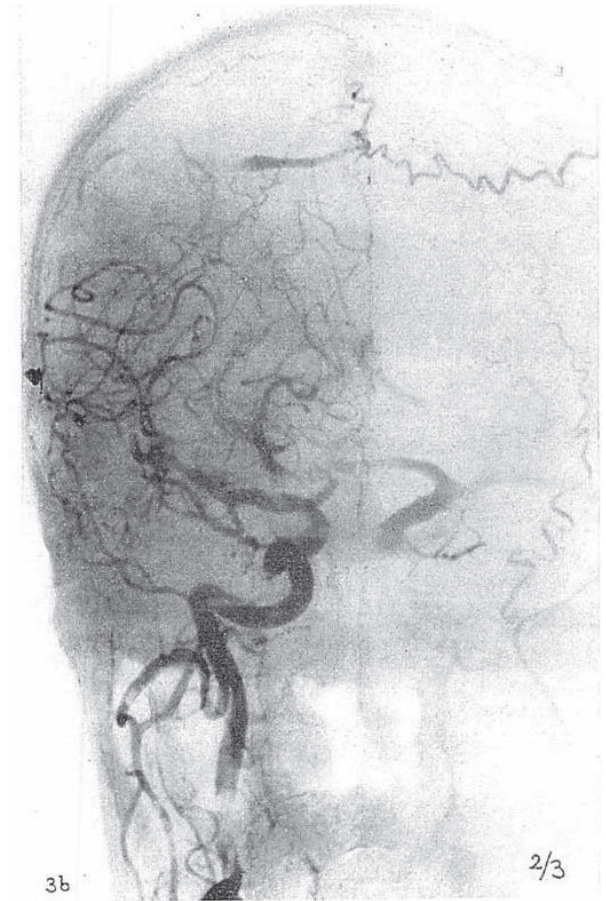


図 2. (a) 金属製の数字を重ねたものの X 線写真. (b) 数字 9, 2 を取り除いたものの反転像.

(c) a と反転像 b を重ねたもののコピー. (d) c と同様だが不均一な X 線で撮影した場合.



図 3(a). 総頸動脈にトトロラスト注入後の通常の頭蓋像 (前後撮影).



(b). サブトラクション像. 毛細血管の造影も認められる.

例えば気脳造影の場合、空気注入前後の頭蓋は正確に同じ位置になければならない。我々はこのために簡単な器具を使用している。この器具は歯列と同じ形の金属板で (図 4a), 記録媒体にネジ留めする。金属板を加熱して、その両面に加温で軟らかくなり冷やすとまた硬くなる物質を塗布する (このような物質はどこの歯科技工室にもある)。

この金属板を温水中で (温水の蛇口の下で) 加温し (図 4b), 患者に噛ませると歯列の形状が陥凹して残る (図 4e)。金属板が冷えてから撮影装置に固定すると、患者が歯をこの陥凹に合わせて噛む度に、頭部が常に同じ位置に来るようになる (図 5)。

気脳撮影の場合は次のように行なう。まず図 5 のように患者を固定する。次いで X 線管球、歯の固定器具、Bucky グリッドとカセットをセットして撮影する。

続いて空気を注入するが、これは別室で行なうこともできる。空気注入後に患者を再び撮影装置に戻し、固定器具を噛ませる。これで 2 回目を撮影する。

図 6 のように 2 枚の画像は正確に重なる。図 6a は通常の脳室造影、図 6b は空気注入前の画像の反転画像を重ねて撮影したものから作成したコピーである。

ステレオ画像を作ることも可能である。その場合、空気注入後に X 線管球を同じ 2 つの位置にセットすれば良いだけである。良好なサブトラクション画像を得るためには、被写体の異なる部位で X 線吸収率に反比例したフィルム濃度が得られる必要がある。

従って、濃度がフィルムの特性曲線の線形の部分にあることが必要で、そのため硬めの均一な放射線を利用する。吸収の小さい部位には、銅フィルターを利用す



図 4. 患者固定用の補助器具. 左から金属製の基板, 基板に "Kerr" を塗布したもの, 歯形をつけたもの.

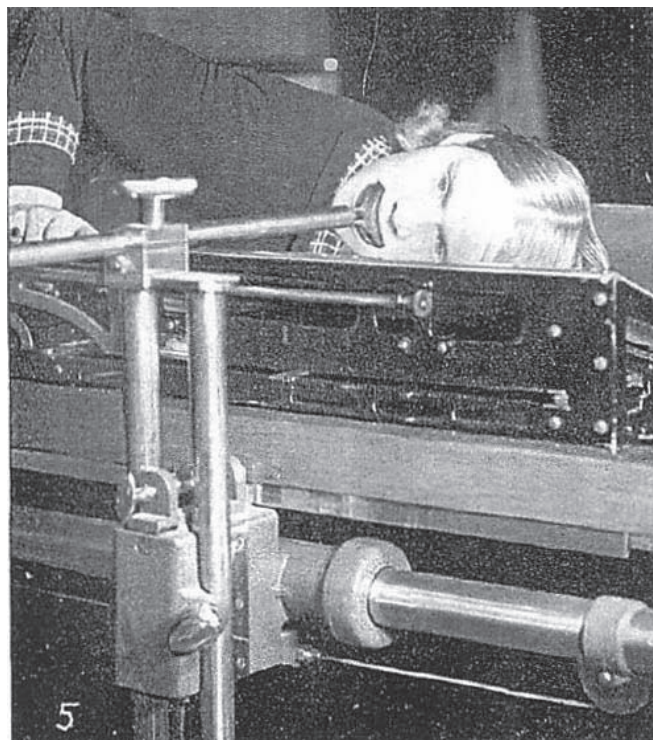


図 5. 図 4 の補助器具による撮影時の患者固定.

るとよい。頭蓋撮影の場合は、軟線成分はほとんど被写体に吸収されるので、特別なフィルターを使用する必要はない。

反転画像の作成

反転画像の作成には2つの方法がある。そのひとつは、X線写真の現像時に直ちに作成する方法である。我々は E. Forster が提案した方法を使用している。

その利点は、原画像の正確な反転画像が得られることである。しかし、これには2つの大きな欠点がある。処理に非常に時間がかかること、そして反転画像と原画像を重ねたときの全体の濃度がそのフィルムの最大レベルに黒くなることである。

従って原画像と反転画像を一緒にすると透見できず、複製を作る必要がある。このため我々はこの方法はもはや使用しておらず、現在は軟らかい写真フィルムにコピーすることによって反転画像を作成している。

我々は、関心領域の反転画像の濃度が原画像の濃度にほぼ正確に一致するような物質を選ぶことに成功した。反転画像の最大濃度は、以下の理由によりそれほど大きな値である必要はない。

例えば頭蓋のX線写真を考えると、我々が測定して平均的な症例では、神経頭蓋の濃度は1.7、顔面頭蓋のそれは2.7、被写体外領域は4.3である。神経頭蓋の空気をサブトラクションで写し出したい場合、反転画像の濃度は1.7までで良い。顔面頭蓋領域の何かを見たい場合は、反転画像の濃度は2.7まででよい。一般的に、反転画像の濃度はあまり大きくし過ぎない方

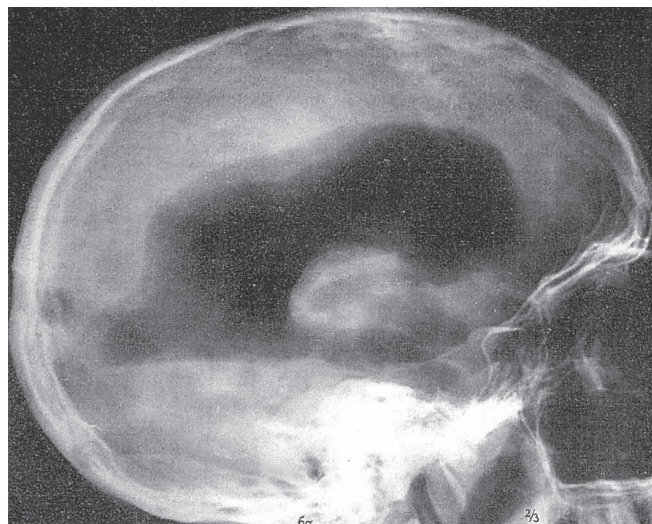


図 6(a). 中脳水道閉塞例の脳室造影.

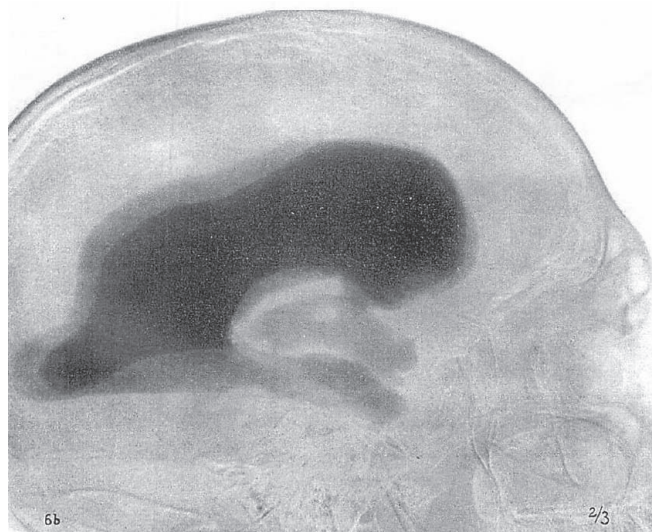


図 6(b). サブトラクション像。空気を注入しないX線画像と、脳室造影後の反転像を重ねたもののコピー。

がよい。例えば造影剤のみならず全体像がまだ見えている程度の濃度が望ましい。まだ、どの画像から反転像を作るべきかという問題がある。一般にサブトラクション画像を透見した時に、暗い背景に対して明るく見える状態がベストである。血管造影の場合、反転画像は造影剤充盈前のX線写真が最も良く、気脳撮影では空気注入後の写真がよい。

理論的説明

サブトラクションに際して起こっていることは、濃度の足し算、引き算である。

放射線科医であれば、2枚のフィルムを重ねて濃度を(入射光と透過光の比の対数を)足し合わせることは慣れているはずである。ここで血管内の造影剤をサブトラクションによって分離したい場合を考える。全体に均一な濃度の血管を考えると、原画像における血管像と背景像の差がどの部位でも同じであれば、サブトラクション画像においてもどの場所でも同じ濃度が得られる。

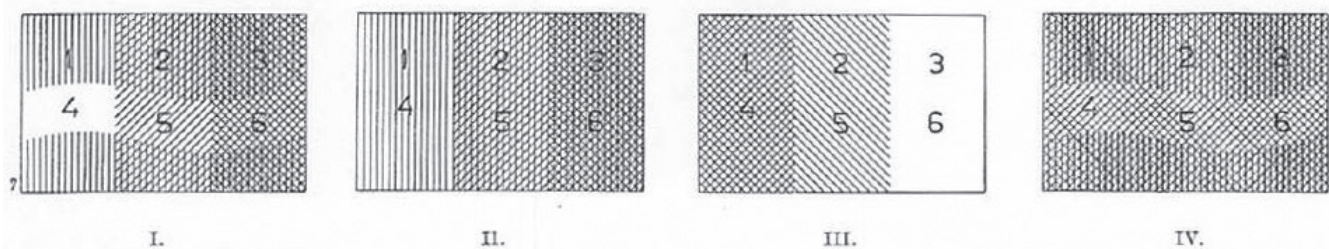


図 7. サブトラクションの模式図 (特に斜線部に注意). I. 血管造影. II. 造影剤を使用しない状態. III. II の反転像. IV. I と III と重ねて透見した状態.

一般に血管とその周囲の濃度差は、画像の部位によって不均等である。例えば、眼窩上壁によって血管陰影は不明瞭になるので、この領域における血管と眼窩上壁の濃度差は、より明るい部分の濃度差よりも小さい。

従って、サブトラクション画像において、眼窩上壁の血管陰影は濃度が低下して見える。全体にわたって均等な血管陰影を得るには、全域の濃度が、重なった部分の総吸収係数に反比例している必要がある。反転画像の濃度については、当然のことながら反転画像、その原画像の濃度の総和が、すべての部位で等しくなければならない。

分かりやすいように図 7 に血管とその周囲の異なる画像を模式的に示した。

I は血管を造影剤で充盈した X 線写真で、血管がさまざまな濃度を示す他の組織に重なっている。

II は造影剤を使用しない X 線写真。

III は II の反転像。

IV は I と III を重ねて透見したもの。

ここで各部位 1, 2, 3, 4, 5, 6 について考える。

I の各部位の濃度を $a, b, c, (a-x_1), (b-x_2), (c-x_3)$ とする。

II の各部位の濃度は a, b, c, a, b, c である。

II と III を重ねた合計濃度を m とすると、III の各部位の濃度は $(m-a), (m-b), (m-c), (m-a), (m-b), (m-c)$ である

I と III を重ねるとき、IV の各部位の濃度は $(a+m-a), (b+m-b), (c+m-c), (a-x_1+m-a), (b-x_2+m-b), (c-x_3+m-c)$

すなわち、 $m, m, m, (m-x_1), (m-x_2), (m-x_3)$

x_1, x_2, x_3 が等しい値 (濃度 x) を持てば、血管の均一な画像が得られる。

図 2d は、 x_1, x_2, x_3 が等しくない場合、すなわち部位によって陰影の濃度差が異なる場合の結果を示している。

X 線吸収係数が均一な物体については、次のように言える：一定の被写体の厚さの差に対して、X 線写真のすべての場所について一定の濃度差が得られる。言い換えれば、X 線写真の各部位の濃度は、被写体の厚さに反比例する。

また次のようにも言える。濃度と厚さの微分係数 dS/dD は一定である。

従って良いサブトラクション像を得るには、次の 2 つの条件がある。

1. X 線写真の濃度が、各点における被写体の吸収係数に反比例する

2. 反転画像の濃度とその原画像の濃度の和が、すべての点において一定である

最初の条件を満たすには、X 線が均一であることが必要であることは、図 8 からわかる。これは被写体の厚さ D と画像濃度 Z の比を示したもので、点線は均一な X 線、実線は不均一な X 線を示す。図 b はこの X 線写真の撮影に使用した金属階段で、濃度は我々が測定した。

この図から、不均一な X 線を使うと、一定の厚さの

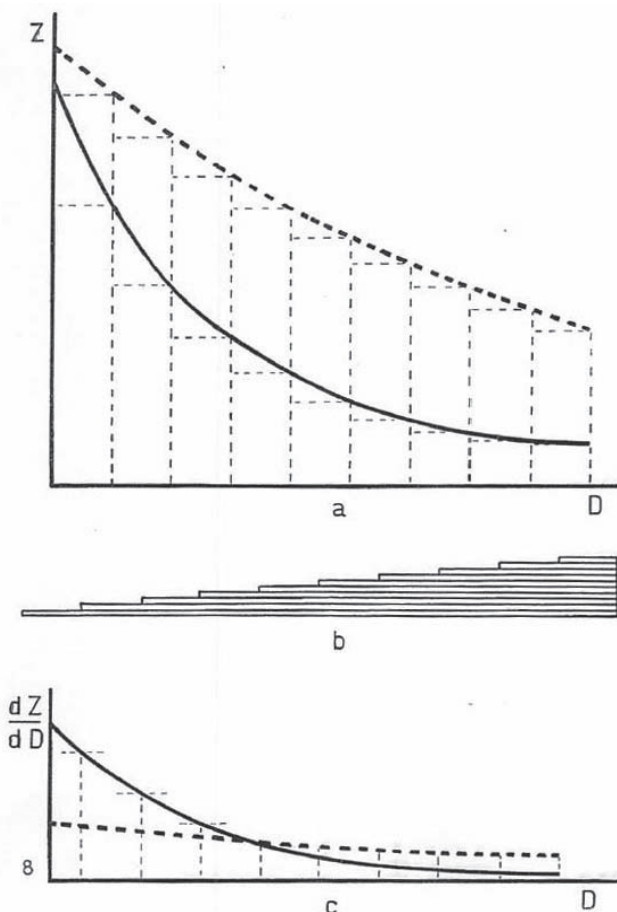


図 8. 説明は本文参照.

差に対する画像濃度の差が、場所によって大きく変化する事が明らかである。均一なX線を使用すると、場所による変化は小さくなる。図cにこの差をあらためて示す。ここでは、画像濃度と被写体の厚さの微分係数 dZ/dD と D の関係を示している。

撮影法の実際的应用

前述の通り、この方法は図3のように血管造影に利用できる。骨陰影に重なっている血管が見えるようになるだけでなく、毛細血管領域の造影も見える可能性がある。

気脳撮影、脳室撮影では、サブトラクションによってしばしば画像の解釈が大いに容易となる。脊髓造影でも良い結果を得ている。

その有用性は、造影検査にとどまらない。手術によって切除された、その他の変化を画像にすることもできる。経時的に変化する被写体以外のものも撮影可能である。被写体の一部を1回目は動いている状態、2回目は静止した状態で撮影すれば、その部分は1回目の写真ではボケ、2回目のみ明瞭に写る。これをサブトラクションすれば、動いている部分のみ撮影できる。

最後に、短時間の間隔で撮影した画像をサブトラク

ションすれば、臓器の運動を調べることができる。例えば胸腔内の拍動している動脈のような臓器では、他の部分はすべて消えて、動いている部分の二重になった画像が得られる。

この方法を利用してまだ間がないので、さまざまな応用の重要性を判断することはできない。この簡単な方法がどのように役立つかわかるのはこれからである。

要約

同じ被写体について、それに修飾(例えば造影剤の注入)を加える前後で同じX線撮影を行なう。

一方の画像の反転像を他方に重ねると、その差異(例えば造影剤)だけが分離した画像として得られる。

このためには、原画像と反転画像に一定の濃度比が必要である。

X線の性質、銀塩層の厚さなどにも一定の条件が必要である。

頭蓋の撮影については、2回の撮影で正確に同じ位置とするために特別な固定方法がある。

【参考文献】

Forster, E., Verfahren zur Herstellung direkter Röntgenpositive, Röntgenpraxis 4 S. 182. — Ziedses des Plantes, B. G., Een methode om bepaalde onderdeelen van het röntgenologisch te onderzoeken voorwerp afzonderlijk in beeld te brengen, Nederl. Tijdschr. Geneesk. 78 S. 762 (1934). — Derselbe, Planigraphie en Subtractie, Röntgenographische Differentiatiemethoden, Kemink en Zoon N. V., Utrecht (1934). — Derselbe, Planigraphie und Subtraktion. Bericht des IV. Intern. Rad.-Kongr. in Zürich 2 S. 173.