

総説

CT診断の最近の進歩—マルチスライスCTを中心に—

片田 和廣

藤田保健衛生大学医学部放射線医学講座

Recent Development of Computed Tomography in Neuroradiology
- Significance of Multislice CT -

Kazuhiro Katada

Department of Radiology, Fujita Health University, School of Medicine

Abstract

Introduction of multislice CT realized the advantages of wider scanning range, shorter scanning time and finer z-axis resolution in CT diagnosis. Of these, improvement of z-axis resolution is the most useful factor in neuroradiological diagnosis. Multislice helical scanning with four rows of 0.5-mm slice enabled us to acquire true isotropic volumetric data, resulting improvement in image quality of multiplanar reconstruction and 3D-CT angiography. The application of half-millimeter helical scanning can be extended to the diagnosis of spinal lesion. The possibilities of new application such as volume radiography are also discussed.

1. はじめに

Computed tomography (CT)は、1972年の登場以来、中枢神経系の画像診断法として重要な役割を果たしてきた。濃度分解能に優れたMRIの登場以後は、脳実質性の病変に関してはsecond choiceの検査として位置づけられるようになったが、一方でMRIにはない簡便性と信頼性故に、多くの頭蓋内・外疾患において、未だに実質的なfirst choiceの画像診断法としてその位置を保っている。

このような状況下で、近年、ヘリカルスキャン、三次元画像診断、さらにはマルチスライスCT (Multislice CT, MSCT)といった相次ぐCT技術の革新がもたらされ、それによってCTの適応とアプリケーションに大きな変化が生じている。なかでも、登場1年半で国内の設置台数が500台を越えたことでもわかるように、マルチスライスCTの臨床能力の高さは際だっている。本項では、中枢神経系のCT診断の進歩に関して、とくにマルチスライスCTを中心に概説する。

2. マルチスライスCTとは

マルチスライスCTあるいはマルチデテクター・로우CT (Multidetector-row CT, MDCT)とは、その名前が示すように、従来1列しかなかったCTの検出器を複数列装備し、同時に多断面のデータが撮れるようにしたCT装置である。この画期的な検出器システムの導入とヘリカルスキャンの併用により、撮影範囲、検査時間、分解能などのCT装置の性能は飛躍的に向上した¹⁾。同時に、スキャン時間(一回転所要時間)も0.5秒にまで短縮され、断層面の薄さも最小0.5mmまで狭小化された²⁾。

マルチスライスCTで最も重要な部分は、X線を検出する部分(マルチスライス検出器)である。現状では、4列および2列のものが臨床に用いられているが、既に8列、16列検出器を装備した次世代の装置が市場に出てきている。基本となる4列マルチスライスCT検出器には、現在3種類(Fig.1)あるが、その構造は大きく二つのタイプに分類される。一つは均等型(matrix

特集：脳の画像診断—各種モダリティにおける画像診断の進歩—

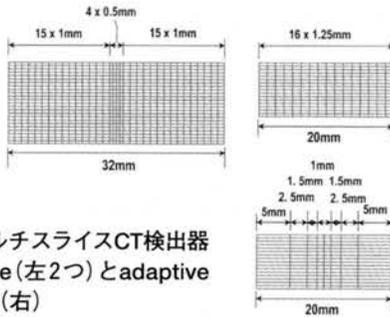


Fig.1 マルチスライスCT検出器 matrix type (左2つ) と adaptive array type (右)

type)と呼ばれるもので、小さな検出器(セル)が等間隔の方眼状に並べられている。今ひとつは不均等型 (adaptive array type)で、周辺部にいくに従って段階的に幅が広がる検出器ユニットが、左右対称性に配列されている。いずれのタイプでも、使用する検出器列数を組み合わせることにより、多種類のスライス幅が選択できる。

3. マルチスライスCTの特徴

マルチスライスCTの最大の特徴は、複数列の検出器とヘリカルスキャンの組み合わせにより、一回転で撮れる範囲が飛躍的に増加したことである。これにより必要ならば1m以上の範囲を一回の呼吸停止下で撮影することも可能になった (Fig.2)。この場合にスキャン範囲が同一で良いとすれば、マルチスライスCTのスキャン時間はシングルスライスCTの場合に比べ、最大10分の1まで短縮可能となった。今ひとつのマルチスライスCTの特徴は、その「細かさ」(体軸方向分解能)である。従来のシングルスライスCTでは、薄いスライス(例えば1mmスライス)でヘリカルスキャンを行えば、狭い範囲しかカバーできなかった。マルチスライスCTでは、上記のように一回のスキャンでカバー



Fig.2 広範囲撮影の例 (正常ボランティア) 頭部から大腿までが一度のスキャンでカバーされている。

できる範囲が増大するので、薄いスライスでも目的臓器全体が充分カバーされるようになった。これらの特徴は、マルチスライスCTが、コンピュータグラフィックスの技術を使った三次元画像診断においても有用なことを示している。また、0.5mmという極薄スライスにより、従来描出困難であった微小構造の診断も可能となった。

1mm, 0.5mmといった薄いスライス幅により撮影を行った場合、画像の最小単位となる立方体(ボクセル)の、x、y、z軸それぞれの方向の分解能が等しくなる。このような最小画素単位を、等方性 (isotropic) ボクセルと呼ぶ²⁾。

等方性ボクセルによる画像では、これまでCT診断でいつも問題となったスライス幅に基づくpartial volume effectの影響がなくなる。このため、診断の対象となる構造の向きや大きさに関わらず常に再現性のよい像が得られる、各種アーチファクトが減少する、CT値の信頼性が向上する、軸位断と等しい体軸方向分解能で矢状断・冠状断が得られる、などの診断上の利点³⁾が得られる。マルチスライスCTによる等方性ボリュームデータは、これらの点で画像診断にとって革命的な影響を与える技術である。

4. マルチスライスCTの臨床

a. 頭蓋骨・側頭骨

矢状断、冠状断が容易に取得できることは、長年CTに対するMRIの優位点であった。マルチスライスCTでは、高い体軸方向分解能で、短時間に広範囲のボリュームデータを取得可能なため、多断面変換 (MPR, multiplanar reconstruction) を用いることにより簡単に縦断像を得ることが可能となった (Fig.3)。いまやCTは、軸位断“も”撮れる画像診断法となった。診断能の点から見ても、マルチスライスCTでは、データがボリュームデータとして取得されるため、後処理のみにより任意部位・任意方向の断面像を作り出すことができる。この点は、現状では原則として撮像時に断面を決定しなければならないMRIよりも優れている。これらの特徴は、とくに顔面-頭蓋底の諸構造描出に有用性が高い。副鼻腔、咽頭、喉頭などでは、軸位断に加えて冠状断、矢状断による診断が可能である。中耳構造では、0.5mmスライスとヘリカル Q-Q 再構成により、 $0.35 \times 0.35 \times 0.35\text{mm}$ の、完全な等方性ボリュームデータが取得可能となった。これにより、アブミ

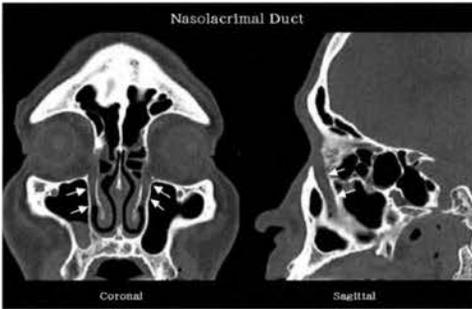


Fig.3 0.5mmマルチスライスCTによる鼻涙管の描出(→)軸位断あるいは直接冠状断と同等の分解能で、再構成矢状断・冠状断が得られている。ポリウムデータから任意部位を任意方向で再構成できるので、目的の構造を必ず捉えることができる。直接冠状断で問題となる歯からのアーチファクトが無いのも、利点の一つである。

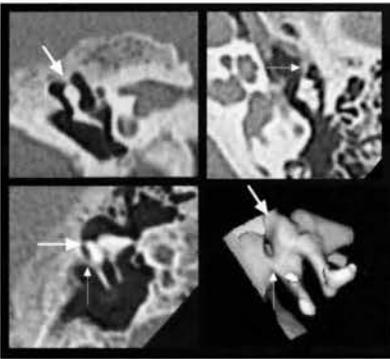


Fig.4 0.5mmスライスによる耳小骨・靭帯のMPR画像
ツチ骨頭部と上鼓室上壁を連結する上ツチ骨靭帯(太矢印)、およびツチ骨頭部前突起と鼓室前壁を連結する前ツチ骨靭帯が耳小骨連鎖とともに明瞭に認められる。

骨前脚、後脚をはじめとする耳小骨の描出は勿論のこと、靭帯などの軟部組織の描出が可能となった(Fig.4)。

b. 脳

マルチスライスCTによる等方性ポリウムデータは、脳実質においても、軸位断と等しい分解能での縦断像表示を可能とした(Fig.5)。ただし、組織間コントラストについては、マルチスライスCT導入後もMRIの優位は揺るぎがない。これは、MRIの組織間コントラストが緩和時間とプロトン密度の差によるのに対し、CTでは原子番号と密度差に依存しているが、脳の白質と灰白質などの軟部組織はすべて軽元素(H,O,Cなど)からなるため、CTでの組織間コントラストがわずかな密度差のみに依存せざることによる。

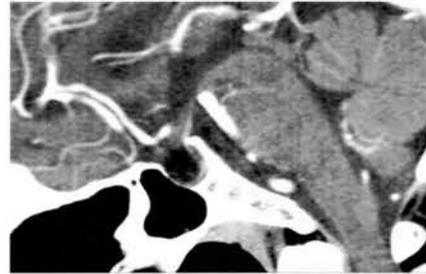


Fig.5 0.5mmスライスによる脳幹部正中矢状断MPR像。全ての正中構造が良好に描出されている。橋内部を前後に走る複数のPontine paramedian arteryが造影されている。

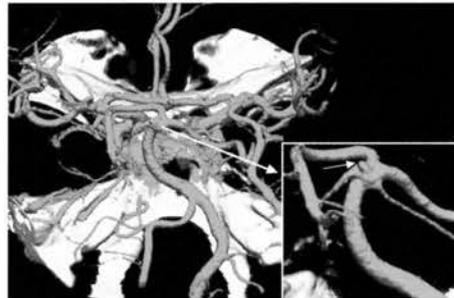


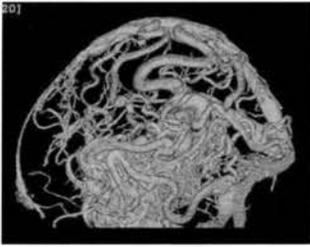
Fig.6 脳動脈瘤の3D-CTA
造影剤静注によるウィリス動脈輪の三次元画像(ポリウムレンダリング法)。
上小脳動脈分岐部の1mm以下の脳動脈瘤(矢印)が明瞭に認められる。

※カラー印刷はP49参照

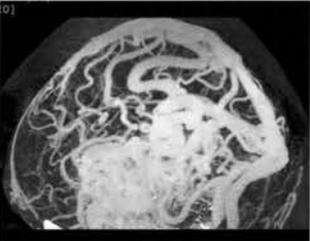
一方、日常临床上重要な検査時間に関しては、マルチスライスCTにより、頭部ルーチン検査所要時間は、数秒から数十秒単位にまで短縮された。すなわち、従来CTが有していたアドバンテージはマルチスライスCTの出現によりさらに増強された。これは、スルーカット面のみならず、緊急例、小児例、重傷例の検査におけるCTの優位性が一層高まることを意味している。

c. 三次元CTアンギオグラフィー(3D-CTA)

CTAは、非侵襲的な血管検査法として、とくに脳動脈瘤の診断・治療支援などを中心に臨床的有用性が確立されている(Fig.6)⁴⁻⁶⁾。マルチスライスCTにおいては、基本的にはシングルスライスと同様であるが、より薄い(0.5mm)スライスが使用できるようになったこと、スキャン時間が短くなったこと、頭蓋全体を撮影可能となったことが大きく異なる。また、1mmスライスを用いれば、大動脈弓から頸動脈分岐部までを、十数秒



a. ボリュームレンダリング画像



b. MIP画像

Fig.7 脳動静脈奇形の3D-CTA

領域拡張プログラムにより、頭蓋骨が除去され、拡張した流入動脈、脳表の導出静脈、nidusが明瞭に描出されている。

一数十秒で検索可能である。マルチスライスCTでは、薄いスライスによりpartial volume effectが減少し、頭蓋骨の除去が従来より容易に行えるようになった(Fig.7a,7b)。

3D-CTAの撮影に当たっては、造影剤注入後適切なタイミングでのスキャンが重要であるが、リアルタイムCT(リアルプレップ)の利用により、必要最低限の造影剤量で、静脈の重なりも少ない血管像が得られるようになった⁷⁾。マルチスライスCTでは、スキャン時間が著しく短縮した分、造影タイミングは従来のヘリカルスキャンよりもさらに精度が要求されるため、今後一層重要性が高まると考えられる。

その他の頭蓋内疾患への応用では、各種虚血性疾患(閉塞・狭窄、側副血行評価)、脳動静脈奇形、脳腫瘍(いずれも術前シミュレーション)などが代表的である。

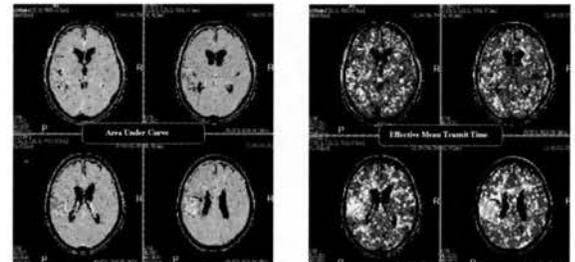
d. 多断面ダイナミックCT・脳血流

現代の画像診断で得られる機能情報としては、生体の動きの解析、造影剤のようなトレーサーの追跡、各種の生体由来の信号検出と解析などが挙げられる。マルチスライスCTにおいては、このうち動きの解析、トレーサーの追跡(ダイナミックCT)など一部領域において、一定の役割を果たす能力がある。とくにダイナミックスキャンでは、同時に4断面の脳循環動態が評価可能となった(Fig.8a, 8b)。MRIのperfusion studyに比し、造影剤濃度とCT値の相関の直線性が優れること、頭

蓋底部における像の歪みが無いこと、空間分解能に勝ることなどの特徴があり、今後虚血性脳疾患の診断への応用が進むと思われる。今後、脳血流量の評価目的で、マルチスライスCTによるXe enhanced CTへの応用も期待される。

e. 脊椎・脊髄

体軸方向に伸びる脊髄・脊椎の診断は、従来、容易に矢状断を撮像可能なMRIの独壇場であった。マルチスライスCTの広範囲検査能力は、頸椎、腰椎を0.5mmスライスによって1分程度で一気に検査可能とした。このため、椎体、椎間板など、脊髄を除く諸構造については、CTによる診断が可能となってきた。とくに脊髄の存在しない腰椎領域においては、椎体、椎間板、root sleeveなどの描出により、椎間板ヘルニアの診断も可能である(Fig.9)。とくに椎間孔の狭窄が、soft diskによるものか、hard diskによるものかの鑑別が容易に行われる点は、MRIを凌ぐ利点である。



a.

b.

Fig.8 中大脳動脈領域脳梗塞例の4断面同時perfusion study

a. Area under curve.

b. Effective mean transit time

※カラー印刷はP49参照

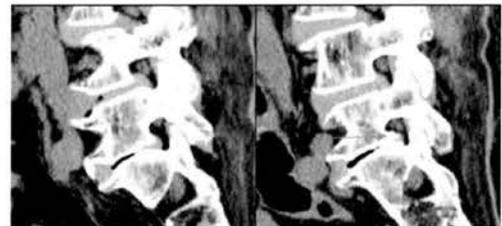


Fig.9 椎間板ヘルニアの0.5mmMPR
マルチスライスCTによる腰椎矢状断像

L5/S1の傍正中矢状断像において、左椎間孔の骨棘による狭窄が認められる(→)。



Fig.10 Adamkiewicz動脈(矢印)と前脊髄動脈の描出

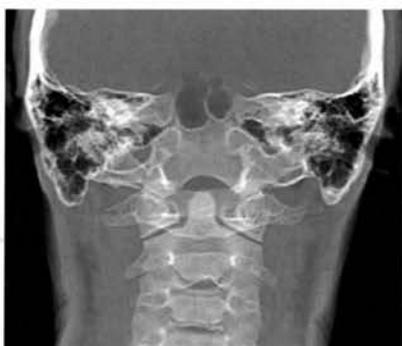


Fig.11 Computed volume radiography (CVR) の例
厚みを持ったMPR画像を作成することで、正常の環椎—
軸椎が上・下顎骨や歯の重なりなく良好に描出されている。

周囲を骨構造に囲まれ、径も細い脊柱管内の血管構造の評価は、従来のCTでは困難とされてきた。リアルプレップによる適切な造影タイミング決定と、beam hardening correctionを併用したマルチスライスCTでは、前脊髄動脈およびそれに注ぐAdamkiewicz動脈を高率に画像化することができる(Fig.10)³⁾。マルチスライスCTの今後の可能性を示す一例と考えられる。

f. CVR (computed volume radiography)

再投影画像(積算画像, ray-sum image)

ボリュームデータを観察したい方向に再投影(積算表示)することにより、再投影画像が得られる。等方性ボリュームデータを任意方向に積算すると、従来の単純X線撮影像に近似した像を作製することができる。本法は、空間分解能こそ劣るが、①歪み・拡大がない、②任意範囲のデータの選択的投影により、不要部分の重なりを排除できる(Fig.3)、③再撮影なしで任意方向の投影像が得られる、④特定の吸収値範囲のみを投影可能(MIPなど)、⑤同一データから断層像、三次元

像を作製可能、⑥軟部組織の情報が同時に得られるなどの多くの利点を有している(Fig.11)。単純X線撮影が煩雑な部位などでは、X線撮影に取って代わる可能性がある³⁾。

5. マルチスライスCTの問題点

マルチスライスCTの最大の問題点は、薄いスライスの多用によるデータ量増大と、それに伴う運用上の問題である。データ量の増大は、像再構成時間の増大⁸⁻¹⁰⁾、データ転送時間の増大、データ表示時間の増大として患者処理能力(スループット)に直接影響する。このため、シングルスライスCTよりも高速の演算装置、ネットワーク環境、表示装置が必要となる。ハードディスク、メモリ、画像保存に関しても、飛躍的な大容量が要求されている。また、画像枚数の増加に伴い、フィルムによる観察は現実的ではなくなっており、いわゆるモニター画面による診断が必須となりつつある。臨床的には、矢状断・冠状断の使用頻度増加に対応して、従来の軸状断解剖に加え、これら縦断解剖の知識が必須となりつつある。データ量増大に伴う放射線科医の読影負荷増大も大きな問題として残されている¹¹⁾。

6. マルチスライスCTの今後

4列システムによって普及が始まったばかりのマルチスライスCTであるが、既に次段階へ向けての開発が進んでおり、今年から来年にかけて、8列あるいは16列のシステムが普及することが確実となっている(Fig.12)。これら多列検出器の真の臨床的意義はなんだろうか? スキャン範囲、速度に関しては、現状の4列システムでほとんど十分と言える。従って8列・16列検出器の第一義的な意味は、薄いスライスの使用に



Fig.12 8列マルチスライスCT
プロトタイプ(東芝Advanced
Aquilion)による広範囲脊椎矢状
断像。

1mmスライス8列、ピッチ10、0.5
秒回転にて、516mmの範囲が26
秒でスキャンされている。L5/S1
に軽度の椎間板ヘルニアが認め
られる。

よる体軸方向分解能の向上であると考えられる。4列ではカバーできる範囲が狭すぎるため使用法が限定されていた0.5mm、1mmといった極薄スライスが、今後は標準的なパラメータとして使用される可能性が出てくるであろう。

8列・16列システム導入の今ひとつの臨床的意義は、スキャン条件の簡略化である。現状の4列システムでは、臨床状況によってスキャン条件を速度重視か、分解能重視か選ぶ必要があったが、これら次世代多列検出器では、圧倒的な速度の向上により、常に最適画質が得られるスキャンパラメータで検査可能となる。例えば夜間緊急時に、CTが専門でない当直医師が検査に当たっても、最小の操作でスキャンが可能となる。その場では厚いスライスで画像を作っておき、翌朝必要ならば残っている生データから精査用の高分解能画像を作成することができる。すなわち、スクリーニングと精査を一回のスキャンで兼ねることができる。これはCT運用上画期的な進歩である。

上記の市販用製品とは別に、研究目的での多列検出器CTの試作が進んでいる。これは、256列面検出器を装備した実験機で、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO: New Energy and Industrial Technology Development Organization）が主宰する「高速コーンビーム3次元X線CT（エネルギー使用合理化）開発委員会」プロジェクトによるものである¹²⁾（Fig.13）。リアルタイムで3次元情報を取得する「4次元スキャナ」の実現を目指し、2001年中には臨床試験が予定されている。次世代機のプロトタイプとして有望視されている。



Fig.13 256列面検出器CT
分解能0.5mm、256x912チャンネルの面検出器を装備したプロトタイプCT。

7. おわりに

マルチスライスCTの診断能力は、従来の装置に比して飛躍的に高い。しかも、かつてないほど急速に、装置の開発・普及が進んでおり、その進歩は、大方の医師の想像より遙かに急である。現状の4列システムは、大きな臨床能力を有しているが、マルチスライスCTとしては最も初期的なシステムに過ぎない。数百列の検出器を有する面検出器CTが実用化されれば、従来のX線検査のかなりの部分が、マルチスライスCTにより置き換えられる可能性もある。このような現状では、マルチスライスCTそのものの「適応」や「限界」を正確に見極めることは困難である。マルチスライスCTによりもたらされつつある診断革命の今後を、すべての臨床医は注意深く見守る必要がある。

参考文献

1. 辻岡勝美: マルチスライスCTの原理。日本放射線技術学会雑誌、56(12):1391-1396, 2000.
2. 片田和廣: Half-second submillimeter realtime multirow helical CT—AquilionによるCT診断—。メディカルレビュー、72: 62-70, 1999.
3. Katada K, Fujii N, Ogura Y, Hayakawa M, Koga S: Usefulness of isotropic volumetric data in neuroradiological diagnosis. In: Reiser MF, Takahashi M, Modic M, Bruening R, eds. Multislice CT. Springer-Verlag, Berlin; 2001: 119-117.
4. Ogura Y, Katada K, Sano H, Kato Y, Kanno T, Nomura M, Takeshita G, Koga S: The detectability of intracranial aneurysms using helical CT compared with conventional cerebral angiography. *Neuroradiology*, 37(suppl.):574-576, 1995.
5. Korogi Y, Takahashi M, Imakita S, Abe T, Utsunomiya H, Ochi M, Hasuo K, Katada K: Diagnostic Accuracy of Three-dimensional CT Angiography in the Screening Evaluation of Intracranial Aneurysms. *International Journal of Neuroradiology*, 4(5):373-379, 1998.
6. Korogi Y, Takahashi M, Katada K, Ogura Y, Hasuo K, Ochi M, Utsunomiya H, Abe T, Imakita S: Intracranial Aneurysms: Detection with Three-dimensional CT Angiography

- with Volume Rendering— Comparison with Conventional Angiographic and Surgical Findings. *Radiology*, 211:497-506, 1999.
7. Anno H, Katada K, Kato R, Ogura Y, Koga S : Scan timing control in contrast helical CT studies using the real-time reconstruction technique- Development of the SureStart function. *Medical Review*, 60: 5-12, 1997.
 8. 赤羽正章：マルチスライスCTの画像診断。可能性と将来展望を含めて。新医療, 293: 53-56, 1999.
 9. 門田正貴、山下康行、高橋睦正：Multi-row detector CTの活用。映像情報(M)、31(20)：1117-1126, 1999.
 10. 小林成司、白神伸之、平松京一：複数検出器列CTを用いたダイナミックスタディ。映像情報(M)、31(20)：1146-1153, 1999.
 11. 片田和廣：マルチスライスCT。Clinical Neuroscience, 18(9): 1009-1012, 2000.
 12. 医療福祉機器研究所編：平成11年度成果報告書。高速コーンビーム3次元X線CT(エネルギー使用合理化)。2000.

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（(社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F FAX：03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619