

## 総説

3T MRIにおける3D time-of-flight MR angiography  
—基礎的検討と臨床経験掛田 伸吾、興梠 征典、佐藤 徹<sup>1)</sup>、肥合 康弘<sup>2)</sup><sup>1)</sup> 産業医科大学放射線科・放射線部<sup>2)</sup> 熊本大学医学部保健学科放射線技術科学専攻Time-of-flight MR angiography at 3T MRI  
—experimental testing and clinical experienceShingo Kakeda, Yukunori Korogi, Toru Sato <sup>1)</sup>, Yasuhiro Hiai <sup>2)</sup><sup>1)</sup> Department of Radiology, University of Occupational and Environmental Health School of Medicine<sup>2)</sup> Department of Course of Radiological Sciences, Kumamoto University School of Health Sciences

## 要旨

3T MRIでは1.5Tに比し、S/N比とinflow効果の増強により3D time-of-flight (TOF) MRAの画質が向上する。すでにいくつかの3T臨床研究の結果が報告されているが、模擬脳動脈瘤ファントムを用い1.5Tと3Tを比較した我々の実験でも3T MRAによる脳動脈瘤の描出能向上が確認され、パラレルイメージングを併用しても画質の低下なく撮像時間が短縮できた。さらに脳動脈瘤プラチナコイル塞栓術後についてファントムで比較したところ、TEを適切に設定した3Tの方が術後評価に優れていた。

## Abstract

In regard to 3D time-of-flight (TOF) MRA, the 3T system offers some potential advantages compared to 1.5T system. The approximate doubling of signal-to-noise ratio from 1.5 to 3T can provide the higher spatial resolution and the increased T1 relaxation time at higher magnetic field strength yields improvement of vessel-tissue contrast at 3T imaging.

We compared 3D TOF MRA at 3T with that at 1.5T for image quality by using a vascular phantom with pulsatile flow. Our results demonstrated that, the 3T system, which allowed shorter acquisition time while maintaining the higher spatial resolution with the use of parallel imaging techniques, seemed more appropriate for the evaluation of the simulated intracranial aneurysms than 1.5T system. In addition, high spatial resolution 3D TOF MRA at 3T with a short TE appears to be an excellent tool for the depiction of residual flows in the aneurysms embolized with platinum coils.

**Key words** : time-of-flight MR angiography; 3T MRI; aneurysm; platinum coil; high-spatial-resolution MR angiography; phantom study

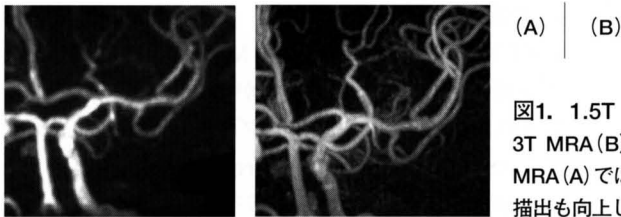


図1. 1.5T (A) と3T (B) で撮像された脳動脈瘤の症例

3T MRA (B) では左中大脳動脈に微小な脳動脈瘤 (矢印) を認めるが、1.5T MRA (A) では脳動脈瘤を指摘できない。3Tでは穿通枝 (レンズ核線条体動脈) の描出も向上している。

### はじめに

本邦における3T MRIの臨床応用は、2003年に頭部領域でスタートし、2005年1月には全身用3T装置が薬事認可を受けた。現在、3T MRI装置の普及は急速に進んでおり、今後は更に加速していくものと思われる。1.5T MRIに比べ3T MRIには種々の特徴があり、その主なものとしてsignal-to-noise ratio (SNR) の向上、T1緩和時間の延長、磁化率効果の増強、化学シフトの増大がある。このうちSNRの向上およびT1緩和時間の延長によるinflow効果の増強の両者が、3D time-of-flight (TOF) MRAの画質を共に向上させる<sup>1, 2)</sup>。本稿では3T TOF MRAの臨床的有用性について簡単に述べるとともに、我々がファントムを用いて行った1.5T MRAと3T MRAでの比較検討について結果の一部を紹介する。

### MRI装置と撮像パラメータ

我々が使用しているMRI装置はGE社製: SIGNA EXCITE 3.0 T HDで、傾斜磁場システムはGE独自のTwinグラディエントを採用し、最大傾斜磁場強度40mT/m、スリューレート150mT/m/msecの性能を有している。脳MRIには、8チャンネルRFレシーバーコイ

ルを用いている。

我々の日常臨床での3D TOF MRAの撮像パラメータは、TR=33msec、TE=3.3 msec、flip angle=20°、バンド幅=65 KHz、マトリックス数=384×224、スライス厚=1mm、Field of view=16cmである。撮像にはパラレルイメージング (reduction factor=2) を使い、撮像時間は4分25秒である。TEに3.3msecを用いるのは、3Tのout of phase (TE=1.1 msec, 3.3 msec, 5.5 msec) が1.5Tと異なるためである。また、MRAで用いられるmagnetization transfer contrast (MTC) パルスはSARによる制限を受けるが、k空間の中心部だけにパルスを照射することで撮像時間の延長を回避できる。

### 臨床における3T MRA

過去の検討によると、3T MRIでは大きなマトリックス数を用いた高分解能 MRAが有用であると報告されている。Willinekらは、脳動脈の閉塞や狭窄など脳血管病変の描出について、Voxel volumeに0.13mmを用いた高分解能 3T MRAは従来の0.92mmを用いたMRAより優れると報告している。分解能の向上により撮像時間は延長するが、パラレルイメージングを用いることで解決できる。ここでは、我々の経験した症例を紹介するとともに、過去の報告についても述べる。

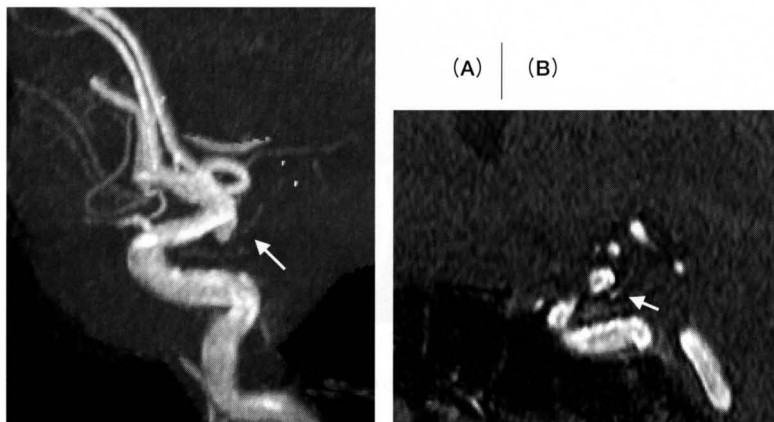


図2. 脳動脈瘤の症例

3T MRA (A) および矢状断像で再構成した3T MRAの元画像 (B) では、突出の先端から後交通動脈 (矢印) が分岐していることが確認できる。これにより、漏斗状拡張の診断が可能である。

**A. 脳動脈瘤**

Gordonらは、17個の脳動脈瘤について3T MRA と1.5T MRAを比較し、3T MRAの優れた描出能を報告している。この報告では、特に前交通動脈や中大脳動脈水平部末端など末梢に存在する動脈瘤の描出が向上したと述べている<sup>3)</sup>。脳動脈瘤の診断精度についてまだまとまった報告はないが、3T MRAでは高い空間分解能を活かし脳動脈瘤の検出感度・特異度ともに向上することが予想される(図1)。診断特異度に関しては、漏斗状拡張などの偽病変の診断能が向上すると考える(図2)。

**B. 穿通枝領域の病変**

3T MRAでは、従来の1.5T MRAで描出できなかった穿通枝など微細な血管構造が良好に描出できると報告されている<sup>2)</sup>。我々は、レンズ核線条体動脈と虚血病巣との関係が描出できたneuropsychiatric SLEの一例を経験した(図3)。微細な血管構造が描出できることで、もやもや病の診断精度も向上する。過去の検討では、3Tでは1.5Tと比べもやもや病における狭窄・閉塞性病変に加えそれに伴う側副血行路が良好に描出されると報告されている<sup>1)</sup>。我々は、もやもや病患者の経過観察時に1.5Tと3Tで撮像されている場合、両システム

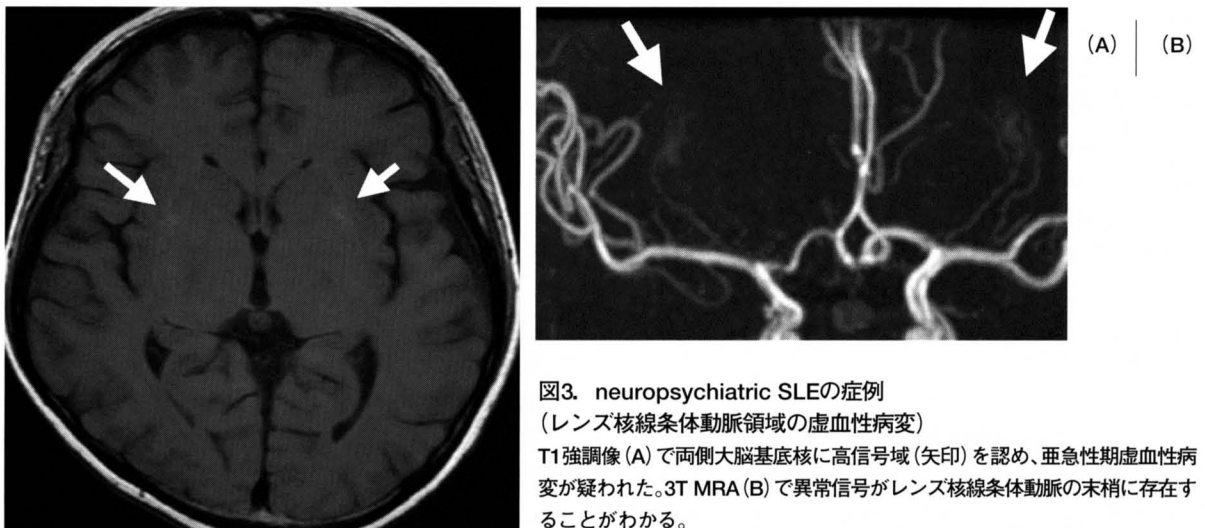


図3. neuropsychiatric SLEの症例  
(レンズ核線条体動脈領域の虚血性病変)  
T1強調像(A)で両側大脳基底核に高信号域(矢印)を認め、亜急性期虚血性病変が疑われた。3T MRA(B)で異常信号がレンズ核線条体動脈の末梢に存在することがわかる。

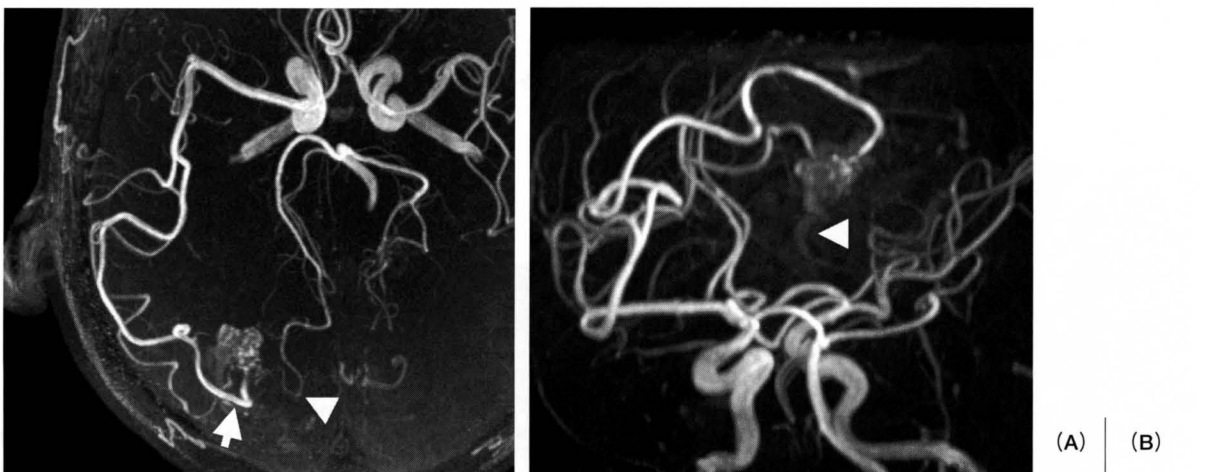


図4. 脳動静脈奇形の症例  
3T MRA(A)でナイダスと中大脳動脈(矢印)および後大脳動脈(矢頭)からの流入動脈が認められる。左斜位からの観察(B)では、流出静脈(矢頭)が同定できる。

での描出能の違いに留意し読影している。

### C. 末梢領域の評価

従来の1.5T MRAに比べ皮質枝など末梢動脈の描出能が改善する。これにより、動静脈奇形では流入動脈や流出静脈の描出が改善する(図4)。また、Superficial temporal artery (STA)-MCA bypassなど血行再建術後の評価も従来の1.5Tより優れている。

### 1.5T MRAと3T MRAの比較：ファントム実験

我々は多数の脳動脈瘤の疑似病変を配置したファントムを用いて動脈瘤の描出能について、1.5T MRAと3T MRAで比較した。実験は、管腔ファントム内に拍動流ポンプを用いて模擬血液を流し、3D TOF MRAを撮像した。ここでは結果の一部を紹介する。

### A. 空間分解能と画質の関係

1.5Tと3Tでマトリクス数を変化させ、空間分解能と画質の関係を調べたところ、224×224未満の小さな

マトリクス数では、1.5Tと3Tの間で疑似動脈瘤の評価に差は見られなかった。一方、マトリクス数が224×224より大きくなると3Tは画質が向上するのに対して、1.5TではSNR劣化の影響を受け逆に低下した。

### B. パラレルイメージングと画質の関係

パラレルイメージングは、複数のRFコイルを使用することによって撮像時間の短縮を可能とする高速撮像技術である。この手法では、コイル数(R個、R: reduction factor)の逆数分(1/R)だけ撮像時間を短縮できる。一方、パラレルイメージングの欠点のひとつにSNRの低下がある。パラレルイメージングを行った場合のSNRは、パラレルイメージングを使用しない場合のSNR(full)、reduction factor (R)、FOV内の個々の位置によって変化する固有のノイズを表す定数である geometry factor (g)を用いて、以下のように表される。

$$\text{SNR} = \text{SNR}(\text{full}) / g\sqrt{R}$$

つまり、パラレルイメージングを用いたときのSNRの

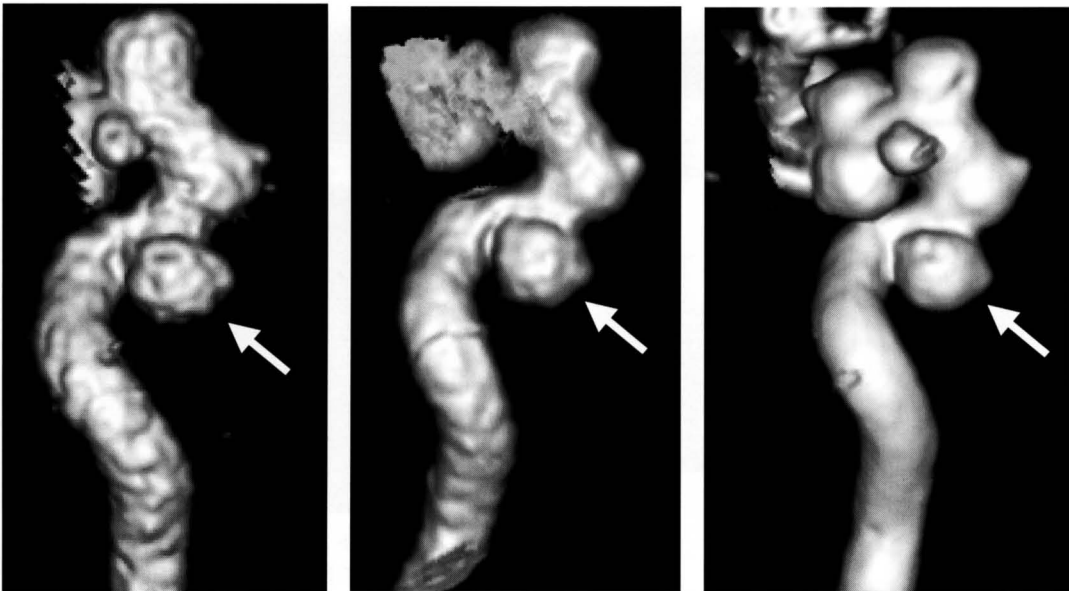


図5. 脳動脈瘤ファントムを用いて撮像された1.5T MRA (A, B) と3T MRA (C)  
(マトリクス数 256×256)

A; パラレルイメージングを用いた1.5T MRA (reduction factor=2、撮像時間4分32秒)

B; パラレルイメージングを使用しない1.5T MRA (撮像時間9分1秒)

C; パラレルイメージングを用いた3T MRA (reduction factor=2、撮像時間4分32秒)

1.5T MRAでは、パラレルイメージングを用いることで画質が低下し、動脈瘤(矢印)の描出も不良となっている。一方、3T MRAはパラレルイメージングを用いても十分な画質である。

(A) | (B) | (C)

特集：3TMRIの臨床：現状と将来展望

低下はreduction factorに寄与し、理論上SNRは $1/\sqrt{R}$ となる<sup>4)</sup>。

我々は、パラレルイメージングでのreduction factorを変化させ、疑似動脈瘤の描出能について1.5Tと3Tを比較した。結果、1.5Tはreduction factorを増すことで画質の低下が出現したが、3Tの画質が低下することはなかった(図5)。パラレルイメージングは高いSNRをもつ3Tで有用な撮像法であり、reduction factor 2を使用した高分解能MRAでも十分なSNRが維持できる。

### C. プラチナコイル塞栓術後の評価

プラチナコイルを用いた脳動脈瘤塞栓術後の評価において、MRAは非侵襲的検査として確立している。3T MRI装置ではinflow効果の増強等により3D TOF MRAでの画質向上が期待される一方、プラチナコイルの磁化率アーチファクトにより画質の低下が危惧される<sup>5)</sup>。過去に脳動脈瘤のプラチナコイル塞栓術後の評価について、高分解能 3T TOF MRAの高い診断精度が

報告されているが<sup>6)</sup>、1.5Tと比較した報告はない。我々はプラチナコイルを挿入した脳動脈瘤モデルを作製し1.5Tと3Tを比較した。結果、3TではTEを短く設定することでプラチナコイルによる磁化率アーチファクトの影響を軽減でき、かつより大きなマトリックス数を選択することで高分解能のMRAを撮像でき1.5T MRAよりも術後評価に優れていた。

### D. 表示法(MIPおよびVR法)の検討

脳血管イメージングにおける画像表示法の選択は、正確な診断において極めて重要である。Volume rendering (VR) 法は解剖学的位置関係の把握に優れ、3D DSAやCTAでの有用性は確立している。従来MRAの画像表示法には、閾値の設定がなく簡便な手法である最大値投影(maximum intensity projection; MIP)法が広く用いられてきたが、VR法を併用することで更なる診断精度の向上が考えられる。脳動脈瘤ファントムを用いて表示法による違いについて比較した

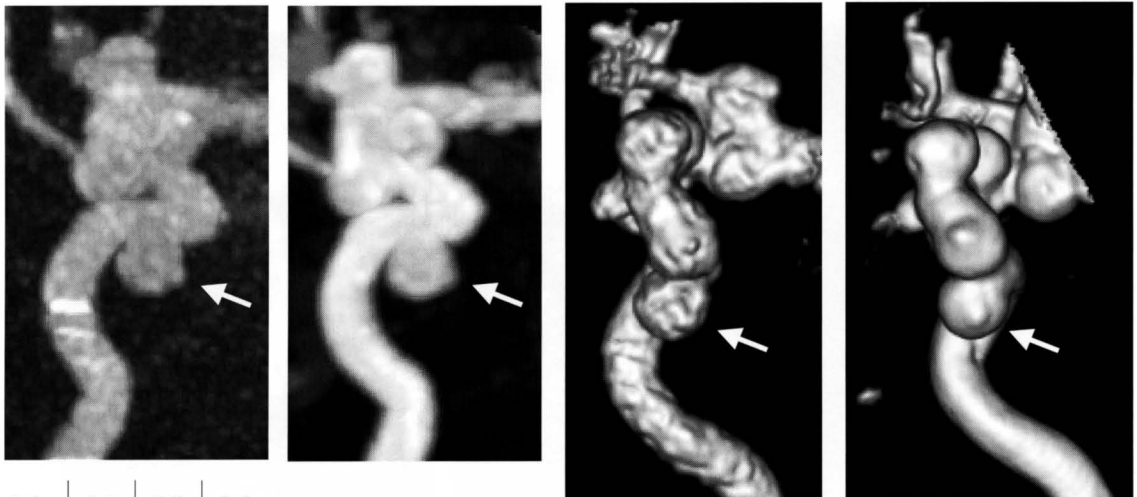


図6. 脳動脈瘤ファントムを用いて撮像された1.5T MRA (MIP; A, VR像; C)と3T MRA (MIP; B, VR像; D)

1.5T MRAと3T MRAを比較した場合、MIP (A vs B)でもSNRの違いが明らかであるが、動脈瘤(矢印)の診断においては大きな差は認めない。一方、VR像(C vs D)で比較した場合、画質の差は明らかである。

ところ、3TではVR像の画質向上が大きかった(図6)。細かい動脈が多く描出される3T MRAでは血管と病変との分離にVR像が有用と考えられる。

近年普及したPACS (Picture Archiving and Communication System) では、3D画像作製システムを読影端末に導入することでエンドユーザによる3D画像構築や動画取得および表示が可能であり、読影端末で容易にVR像を用いて読影ができる環境が整ってきている。3T MRAの高画質はVR像の臨床応用をさらに促進すると考えられる。

### おわりに

以上、ファントムを用いて行った1.5T MRAと3T MRAの比較を中心に述べた。パラレルイメージングは高いSNRをもつ3T装置で有用であり、比較的短時間で高分解能MRAの撮像を可能とする。日常診療においては、脳動脈瘤や末梢血管領域の病変など様々な病変の診断精度を向上させると思われる。

### 参考文献

1. Fushimi Y, Miki Y, Kikuta K, Okada T, et al: Comparison of 3.0- and 1.5-T three-dimensional time-of-flight MR angiography in moyamoya disease: preliminary experience. *Radiology*. 239:232-237, 2006.
2. Willinek WA, Born M, Simon B, et al. Time-of-flight MR angiography: comparison of 3.0-T imaging and 1.5-T imaging--initial experience. *Radiology*. 229:913-920, 2003.
3. Gibbs GF, Huston J III, Bernstein MA, Riederer SJ, Brown RD. Improved image quality of intracranial aneurysms: 3T versus 1.5-T time-of-flight MR angiography. *AJNR Am J Neuroradiol*. 25:84-87, 2004.
4. Pruessmann KP, Weiger M, Scheidegger MB, Boesiger P. SENSE: sensitivity encoding for fast MRI. *Magn Reson Med*. 42:952-962, 1999.
5. Walker MT, Tsai J, Parish T, et al. MR angiographic evaluation of platinum coil packs at 1.5T and 3T: an in vitro assessment of artifact production: technical note. *AJNR Am J Neuroradiol*. 26:848-853, 2005.
6. Majoie CB, Sprengers ME, van Rooij WJ, et al. MR angiography at 3T versus digital subtraction angiography in the follow-up of intracranial aneurysms treated with detachable coils. *AJNR Am J Neuroradiol*. 26:1349-1356, 2005.

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