

ラジオロジー

放射線医療と患者さんをつなぐ広報誌

23
2014年

特集◎コンピュータ支援診断【CAD】の始まり

群馬県立県民健康科学大学学長 シカゴ大学名誉教授
土井 邦雄 (どい くにお)

■世界の街角から ミラノのCorso di Porta Ticinese

藤田保健衛生大学医学部先端画像診断共同研究講座
片田 和広 (かただ かずひろ)

■My Hobby

星好き
山形大学医学部附属病院放射線部
江口 陽一 (えぐち よういち)

患者さんに

やさしい放射線医学を求めて…

ラジオロジー(Radiology)とは放射線科学のことです。
ラジオロジーは体の中を切らずに、見ます。エックス線写真からはじまり、ここまで来ました。

日本ラジオロジー協会

「みえる・わかる・なおる」をテーマとして放射線科学は医療に幅広く貢献しております。

[特集]

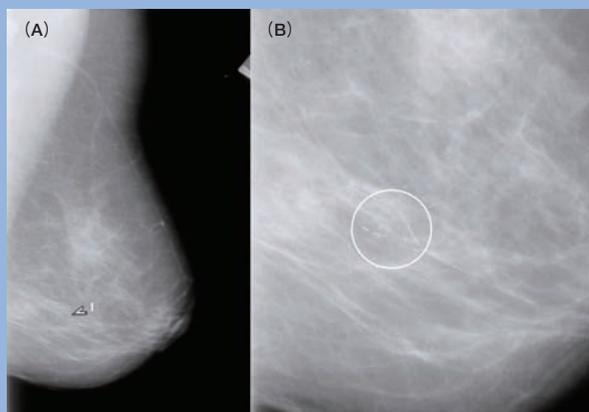
コンピュータ支援診断 【CAD】の始まり

群馬県立県民健康科学大学学長
シカゴ大学名誉教授
土井 邦雄 (どい くにお)

1. アメリカにおける乳癌検診と コンピュータ支援診断 (CAD)

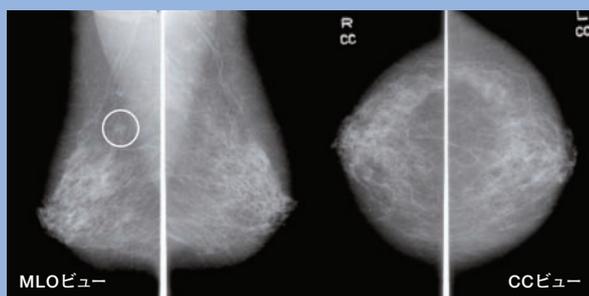
アメリカにおいては、現在、乳癌検診のために、毎年約3800万人のマモグラム (乳房写真) が撮影されています。マモグラムにおける乳癌の代表的な病巣は、微少石灰化と腫瘍 (マスとも呼ばれる) です。微少石灰化 (図1) の平均寸法は、約0.3mmですから極めて小さく見つけるのが困難です。一方、腫瘍 (図2) は、正常な乳腺の陰影と似ているため、これを正しく認識するのは容易ではありません。そこでコンピュータによってマモグラムの画像データを詳しく分析して、微少石灰化や腫瘍のある場所を矢印などで示す

図1. マモグラムにおける微少石灰化による陰影とその拡大像；コンピュータによる検出 (矢印) の例



(A) マモグラム (乳房写真) におけるコンピュータの出力 (矢印)
(B) コンピュータによって検出された病巣 (微小石灰化のクラスター) の拡大像

図2. 乳癌検診における4枚のマモグラム (左右および2方向からの撮影)；腫瘍による陰影 (○印)



技術が開発されました。この結果を医師に示し、医師はこれを利用して最終診断を下すのです。これがコンピュータ支援診断 (Computer-Aided Diagnosis: CAD) と呼ばれている医用画像を用いる診断技術です。アメリカでは、現在、3800万人のマモグラムの約90%は、CADを利用して診断されています。日本では、まだ始まったばかりで、今後の急速な進展が期待されます。

2. 病巣の見落としとCAD

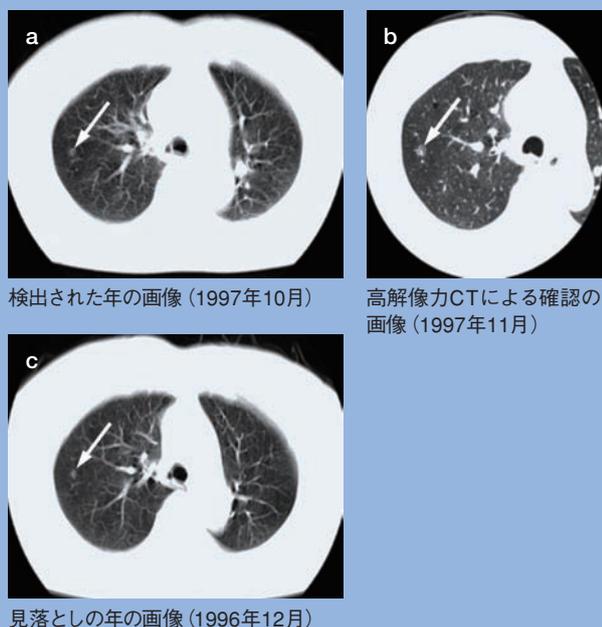
コンピュータ支援診断 (CAD) の役割とその必要性を説明する前に、このような概念が必要になった背景を説明します。肺癌による死亡率を減少させるには、CTによる早期発見が有益であることが知られています。そこで、日本だけでなく多くの国では、ハイリスク患者に対して低線量CTを用いる肺癌検診が行われています。低線量CTの胸部画像とこの検査の問題点を、図3に示します。1997年10月の胸部CT画像 (図3a) では、右肺野に淡い陰影 (矢印) が認められました。そこで、高解像力CT検査の結果、肺癌を疑わせる明確なノジュール (結節) 陰影 (図3b矢印) が確認されます。そこで、1年前 (1996年12月) の検診で得られていた胸部CT画像 (図3c) を観察すると、ほぼ同じ位置に淡い陰影 (矢印) が認識できます。そこで、1年前の検査では、肺癌を疑う淡い陰影を「見落とし」していたことがわかります。胸部画像やマモグラムにおける病巣の見落としは、過去50年程の多くの研究から、大体1/3程度と報告されています。

3. 医用画像の病巣を何故見落とすのか？

このような医用画像における見落としは、胸部単純写真やマモグラムなどでも起こることが報告されています。この見落としの原因は、主として、血管、肋骨、乳腺などの人間の正常構造の陰影が病巣の陰影を見えにくく (カムフラージ) しているからと考えられています。例えば、ジャングルの写真を見て、隠れている動物を探すことを考えてみます。ジャングルには、密林や沢山の植物があるために動物を見つけるのは困難ですが、密林や植物を取り除いてしまえば、動物は簡単に見つかります。医用画像における病巣は、同様に、どこに位置しているか前もって分かりませんので、正常構造と重なっている新しい病巣の陰影を見つけるのは極めて困難です。

更に、癌の検診では、多くの方は癌ではありませんので多数の正常な医用画像が得られます。例えば、アメリカの乳癌検診では、1000人のうち約4人の癌患者が含まれています。そこで、250人のマモグラムからたった1人だけの異常陰影を正しく見つけるのは、医師にとって容易な

図3. 低線量CTによる肺癌検診で得られる胸部画像；
薄い肺癌陰影の見落としの例

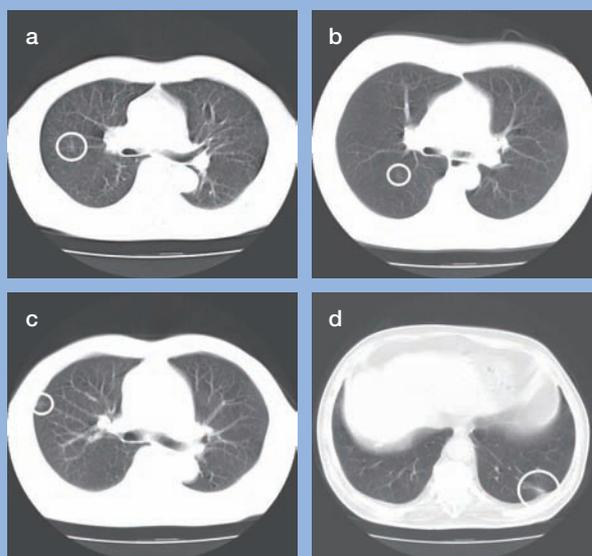


検出された年の画像 (1997年10月)

高解像力CTによる確認の
画像 (1997年11月)

見落としの年の画像 (1996年12月)

図4. 低線量CTによる肺癌検診における見落としの4例と
コンピュータによる検出結果 (○印)



ことではありません。年間5000人を検診対象とする施設では、約2週間に1人の乳癌患者の割合です。そこで、早期の癌による薄い陰影を検出するのは極めて難しいのです。

4. コンピュータ支援診断の基本

図3の例では、もし1年前の低線量CT画像について、コンピュータを用いてノジュールを検出できれば、早期発見できた可能性があります。実際、低線量CTを用いた肺癌検診で見落としされていた4例の画像を図4に示します。これらの画像に対してコンピュータを用いて薄い陰影を検出したところ、それぞれの画像にマル印で示すようにすべての見落とし陰影は、コンピュータによって正しく検出することが分かったのです。従って、このような結果を医師に提示し、診断を支援することが考案されたのです。これがコンピュータ支援診断の基本です。

5. コンピュータの結果は第2の意見

コンピュータ支援診断 (CAD)¹⁻⁴⁾は、低線量CTのような医用画像に対して、コンピュータを用いて画像を定量的に分析して、病巣の位置などを「第2の意見」として表示し、「医師による診断」を支援することです。ここで注意が必要なのは、CADは、医師の代わりにコンピュータの結果を利用する自動診断とは異なる概念です。

CADの目的は、医用画像の診断の正確度の向上と、更に診断のバラツキを減少させることです。画像診断の正確度は、医師の経験年数などに依存することが知られてい

ます。経験年数の多い専門医は、研修医などよりもより正確なのです。そこで、CADを利用して経験の少ない医師でも正確度を改善して、異なる医師による診断のバラツキを減少させるのです。CADの手法は、画像処理と画像認識に関する高度の技術によって実現されています。そのためには、医用画像に含まれる異常陰影や正常陰影をコンピュータによって分析し、異常陰影の位置、寸法や形状などの特徴量、悪性度の確率、病気の確率などを推定します。更に、臨床データや画像データベースを利用して、参考データや類似画像などを検索し分析結果を表示するのです。

6. CADは役に立つか?

CADが役に立つ可能性を客観的に証明するには、研究室のレベルにおいて、多数の医師による観察者実験を行う必要があります。そのためには、薄い異常陰影を含む多数の画像と多数の正常画像を用意します。これらの画像をランダムに配列し、二つの条件で医師が病巣を検出する実験を行います。一つは、コンピュータの結果を表示しない通常の読影に対応し、他の条件は、コンピュータの結果を示すCADに対応します。この実験結果を、真陽性率 (病巣のある画像を正しく検出する確率) と偽陽性率 (病巣のない正常画像を間違えて病巣があると判断した確率) の関係をプロットすると、図5のようなROC (Receiver operating characteristic) 曲線が得られます。この結果は、CADを利用することで、医師による病巣を検出する特性は明らかに改善される事を示しています。

一方、臨床現場においてCADの有用性を検討する臨床研究もおこなわれています。しかし、臨床においては多くの因子が関係しますので、明確な結論を出すのは極めて困難です。アメリカにおいては、多数の臨床研究が行われていますが、その結果にはかなりのバラツキがあります。しかし、殆どの臨床研究の結果は、CADを用いることによって乳癌の検出率が約5-15%程度向上しています。

図5. 低線量CT画像に含まれる淡い陰影の医師による検出特性のROC曲線；CADあり・なしの比較、Az値はROC曲線の面積

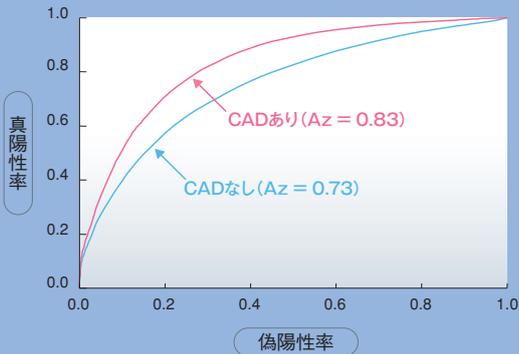
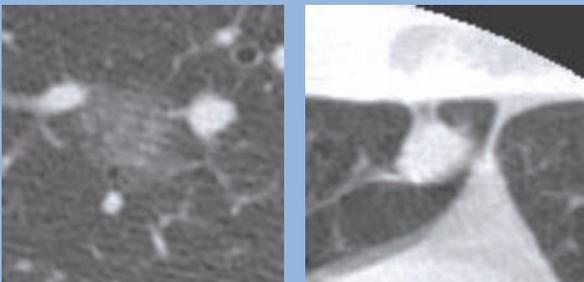


図6. 高解像力CTによる良性と悪性(肺癌)ノジュールの比較；医師による平均スコアとコンピュータ出力(悪性度の確率)の0は良性に、1.0は悪性に対応



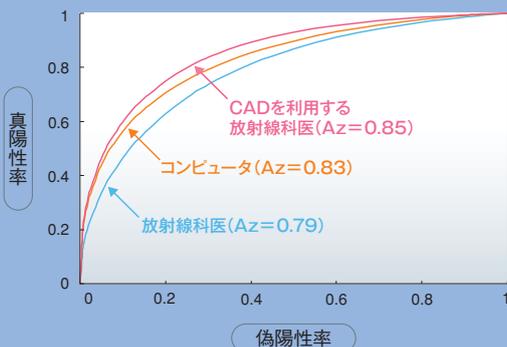
a) 悪性ノジュール

医師による平均スコア(0-1.0): 0.49
コンピュータ出力: 0.97
医師によるCADスコア: 0.67

b) 良性ノジュール

医師による平均スコア(0-1.0): 0.46
コンピュータ出力: 0.01
医師によるCADスコア: 0.27

図7. 高解像力CTによるノジュールの鑑別診断のROC曲線による評価；CADあり・なしとコンピュータだけの特性の比較



次に、アメリカにおける乳癌検診へのCADのインパクトを推定します。

毎年3800万人がマモグラム検診の対象になり、1000人に4人の乳癌を仮定すると、年間約16万人の乳癌患者になります。このうち、通常の検診では、少なく見積もっても約1/4(4万人)の見落としがあります。しかし、CADを利用すると、この中の約半分2万人の乳癌患者は、毎年早期に発見されている可能性が推定できます。

7. 鑑別診断のCAD

医用画像において、病巣が検出されると、医師の次の仕事は、病巣が悪性か、良性かを判断することです。これは、鑑別診断と呼ばれています。鑑別診断は、陰影に含まれる寸法、形状などの特徴量を考慮する高度の知識に基づいて決定されます。図6には、高解像力CTによる悪性ノジュール(a)と良性ノジュール(b)を示します。この二つのノジュールは、医師にとっては良性・悪性の区別の極めて困難な例です。しかし、コンピュータによってこれらの陰影の特徴量を分析するとそれぞれの悪性度の確率を推定することが出来ます。そこで、この結果を「第2の意見」として利用すれば、鑑別診断のためのCADになります。図7は、鑑別診断に関するROC曲線の比較を示します。医師による通常の鑑別診断は、一番低い特性を示しています。コンピュータの結果は、医師の結果よりも優れていますが、医師がコンピュータの結果を利用すると更に改善されることが分かります。この改善が出来るのは、医師の特性とコンピュータの結果の重畳効果と考えられています。例えば、医師が自信を持って判断できるケースについては、コンピュータの結果を無視するかもしれません。これは医師の利点に対応します。しかし、自信のないケースについてはコンピュータの結果に影響される可能性が高いです。コンピュータの結果が正しい場合には、コンピュータの利点に対応します。そこで両者の利点を利用できるのです。

8. CADの対象となるモダリティと臓器

CADの概念は、一般的で幅広いものですから、多くの医用画像に応用できます。今までに研究された色々なCAD^{3,4)}は、X線写真、CT、MRI、超音波画像、核医学画像などに応用されています。対象臓器は、胸部、乳房、大腸、心臓、肝臓、腎臓、前立腺、血管系、骨系統などの多くの異常陰影です。しかし、今までに実用になっているCADは、極めて限られています。アメリカにおいては、乳癌検診のためのマモグラムのCADが実用になっています。しかし、将来は、多くの医用画像における色々なCADの開発が期待されています。

9. CADシステム

CADを臨床で実現するには、コンピュータ、デジタイザや表示装置などで構築されるCADシステムが必要です。図8は、1994年にシカゴ大学で世界最初に開発された乳癌検出のためのCADシステムを示します。1998年には、アメリカのベンチャー企業R2テクノロジーという会社によって、臨床に使用できる乳癌検出のCADが開発されました。最近、医用画像のデジタル化が進んだために、デジタイザは必要ない場合が多くなっています。そこで、CADの

重要な部分は、画像処理やデータ解析を含む複雑なソフトウェアになります。



図8. シカゴ大学で開発された世界最初の乳癌検出のためのCADシステム

図9. マモグラムによる乳癌検診における腫瘍の鑑別診断への類似画像の利用を示す概念図；未知の新しいケースは良性・悪性の類似画像と比較



10. 類似画像を含む次世代CAD

医師は、多くの臨床画像を観察することによって、医用画像に関する高度の知識を構築し、画像診断の知識と技術を身につけています。そこで、未知の画像に類似する画像をデータベースから検索し、これを提示する技術は有用と考えられています。図9は、類似画像⁵⁾を利用する鑑別診断の概念を示します。マモグラムによる乳癌の診断において、中央に示す「未知の新しいケース」に対して、データベースから2例の良性と2例の悪性の画像を両側に表示します。この4例の画像は、未知の画像に最も類似するケースを選びます。そこで、医師は、未知のケースと良性・悪性の陰影を比べて、未知のケースが悪性の陰影により似ているならば、悪性である可能性が高いと判断します。図9では、未知のケースと悪性の例には、腫瘍の周辺にスピキュラと呼ばれる線状の特徴が認識できますので、悪性(乳癌)と考えられます。このような手法は、将来有望なCADと考えられていますが、これを実現するには、いくつかの基本的

な技術を開発する必要があります。例えば、

- (1) 二つの陰影の類似度はどうやって測定するのか?
- (2) 類似度は特徴量とどのように関係しているのか?
- (3) 大きなデータベースはどうやって構築するのか?

などですが、今後の研究開発が期待されます。

参考文献

1. 土井邦雄：「学長の回顧録」、インナービジョン社出版、111-122, 2014
2. 土井邦雄：乳癌検診におけるコンピュータ支援診断(CAD)：現状と将来の可能性、日本乳癌検診学会誌、149-163, 16(2), 2007
3. 土井邦雄：コンピュータ支援診断(CAD)、「診療放射線技術」、改訂13版 南江堂、414-423, 2012
4. 藤田広志、桂川茂彦ほか：コンピュータ支援検出・診断、「実践医用画像解析ハンドブック」、オーム社、518-759, 2012
5. 土井邦雄：類似画像に関するサイエンス：次世代CADのための類似画像に関する定量的評価、日本放射線技術学会誌、400-412, 67(4), 2011

世界の街角から

ミラノのCorso di Porta Ticinese

藤田保健衛生大学医学部先端画像診断共同研究講座
片田 和広 (かただ かずひろ)



渋いイタリア親父のシャッター画



これもシャッター画 目線が鋭く一瞬ドキッとする



賑わう夜のクレープ店



屋外のカフェ・バー

放射線科医として学会出張で世界各国を訪れる都度、街の写真を撮っています。名所・旧跡も良いのですが、いざ写真に残すとどこかで見たような絵に成り勝ち。私が興味有るのは、絵葉書にも観光ガイドにも見られない普段着の街の姿。今回は今年のISMRRMがあったミラノのCorso di Porta Ticineseという通りの様子をご覧に入れます。

この通りはドゥオモからトリノ通りを過ぎてナヴィリオ運河に向かう途中にあります。壁に絵が描いてあったり、ポスターや印刷物が貼りまくられているなど、独特の雰囲気があります。ミラノに行かれた時はお立ち寄り下さい。



自転車が作る複雑な影…と脚線

My Hobby

星好き

山形大学医学部附属病院放射線部

江口 陽一 (えぐち よういち)

私の趣味は星の写真を撮ることである。新星や彗星を発見したいという考えは全く無く、草花や風景写真のように美しいものを撮りたいという思いだけである。この広報誌は8月に発刊されるので、今回は夏の夜空を紹介する。

写真1は、5月上旬の0時過ぎに東の空から昇ってきた夏の天の川である。左上から右下にかけて星の集まりが川のように見えると思う。我々が住んでいる銀河系は凸レンズのような円盤状の形をした星の集団である。天の川は、その凸レンズのような星の集まりを横から眺めている光景である。銀河系を外から見るとアンドロメダ銀河(写真2)のように見えると言われている。銀河系の直径は約10万光年で約2千億個の星が集まって形成されている。太陽系は中心から約3万光年離れたところにあり、毎秒250kmという猛スピードで銀河系の中心を2億年かけて1周している。

天の川に沿って多くの星雲・星団が点在している。今回は夏の代表的な散光星雲を紹介する。写真3は、はくちょう座のデネブのすぐ東にある北アメリカ星雲とペリカン星雲である。北アメリカ星雲は形がそっくりなのですぐに分かると思う。その右下のペリカン星雲は想像力を膨らませていただくと、ペリカンの横顔に見えてくると思う。銀河系



写真1 昇る夏の天の川

中心方向の代表的な星雲としてM8とM20が上げられる(写真4)。M8は全体がサンゴ礁のような形に見えることから干潟星雲とかラグーン星雲などと呼ばれている。M20は、星雲の中央部に暗黒帯が入り三つ分かれているように見えることから三裂星雲と呼ばれている。隣に青い星雲を付けた色の対比の美しい星雲である。M16 (イーグル星雲)、M17 (オメガ星雲) も美しい星雲である(写真5)。

四季折々の星座を知ることで、草花で四季を感じるように、夜空で四季を感じることができる。



写真2



写真3

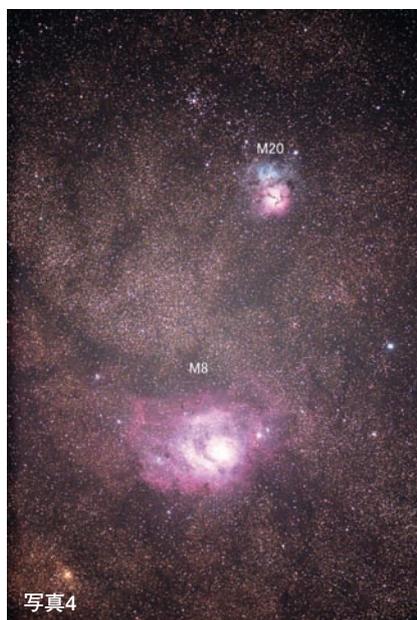


写真4



写真5



サバのCT画像を処理
上：食前のように表示
下：食後のように表示

編集後記

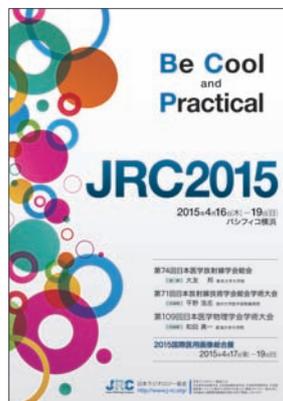
今月号では、「特集」として「コンピュータ支援診断[CAD]の始まり」と題して群馬県立県民健康科学大学学長、シカゴ大学名誉教授の土井邦雄先生に執筆していただきました。画像診断におけるコンピュータ技術の有用性や歴史、開発課題等について大変分かりやすく解説していただいたと感謝しております。

また、「世界の街角から」ではミラノの路地の様子を多くの写真で紹介頂きました。広報委員会では、左上の写真のシャッターに描かれた人物像が筆者である藤田保健衛生大学の片田和広先生に大変よく似ているとの指摘があり、委員全員大いに頷いたものです。

「My Hobby」は山形大学の江口陽一先生から星の写真撮影の趣味をご披露いただきました。美しい星雲の写真を見ていると、どこかCADの特集にあった医用画像の写真と似通っていると感ぜられるのではないのでしょうか。身体内と宇宙、共に深く広く謎めいた空間であり、人類の英知を傾けるに足るフィールドであると改めて感じた次第です。

ご意見、お問い合わせなどがございましたらJRC事務局 (office@j-rc.org) までメールでお寄せください。

JRC広報委員



JRC
Japan Radiology Congress

監 修 公益社団法人 日本医学放射線学会
<http://www.radiology.or.jp/public.html>

発 行 一般社団法人 日本ラジオロジー協会
〒101-0052 東京都千代田区神田小川町3-8
神田駿河台ビル7F
TEL 03-3518-6111 / FAX 03-3518-6139
<http://www.j-rc.org/>

発行日 平成26年8月25日 第12巻第2号 通巻23号