特集を企画するにあたって

宮坂 実木子

国立成育医療研究センター　放射線診療部

Introduction

Mikiko Miyasaka

Department of Radiology, National Center for Child Health and Development

第 52 回日本小児放射線学会学術集会が，与田仁志会長のもと 2016 年 6 月に，東京　砂防会館シェーンバッハ・サボーで開催されました．“ 画像を診る ” というテーマのもと，多岐にわたる分野からの講演が企画された実り多い学会でした．チーム医療が何より大事な小児領域において，各科の情報共有は大切であると考えます．そこで，日本小児科学会雑誌 33 巻の特集として，先生方のご講演内容を企画とさせていただき，学会会員をはじめとする読者への情報発信にしたいと考えました．

安藤久美子先生には，「小児中枢神経感染症の画像診断」をお話いただき，若手医師にとっても理解しやすい教育的な内容でした．髄膜炎，脳炎 / 脳症，関連疾患の診断には，画像診断検査は不可欠であるものの診断に迷うことも少なくありません．多岐にわたる中枢神経感染症の診断についてのポイントをまとめていただいています．中原さおり先生からは，「当院における胎便関連腸閉塞解除の工夫―NICU 内で透視下のようなガストログラフィン注腸が可能に―」という題のもと，透視室に移動が難しい超低出生体重児に対する安全な検査方法であり，聴衆の先生方が非常に注目された内容でした．そして，そのあとにお話された窪田昭男先生の「私が小児放射線学会で学んだことと伝えたいこと」とのすばらしいコラボレーションになっていたと思います．中原先生からのお話には，臨床の現場で役立つ工夫などが組込まれています．窪田先生による胎便関連腸閉塞症の提唱，ヒルシュスプルング病とミルクアレルギーとの関連，限局性腸穿孔の発表は，いずれも臨床的な立場からの工夫と画像診断による賜物であります．今後も変化していくと思われる小児画像診断検査の一面を見ていると思われ，今後の課題や先輩からの激励を感じる内容となっています．そして，馬場一憲先生からは，「周産期領域における画像診断の進歩」として胎児期の超音波診断および MRI，CT についてご紹介いただきました．近年の超音波装置の向上によって，出生前診断はめまぐるしく進歩し，それに伴い出生前後の治療方針のために，胎児 MRI，CT が行われています．実際，小児放射線学会でも，出生前診断に関連した発表が増えています．小児放射線学会は，主に，放射線科，小児科，小児外科で構成されていますが，今後，産婦人科の先生とも密に連携していくことでしょう．

今回，御寄稿いただいた先生には，大変お忙しいなか執筆していただき，心より御礼申し上げます．

日本小児放射線学会雑誌
J Jpn Soc Pediatr Radiol 2017; 33(1): 2–13

特集 第 52 回日本小児放射線学会学術集会“画像を診る” ランチョンセミナー 2 より

小児中枢神経ウイルス感染症の画像診断

安藤 久美子，石藏 礼一，河中 祐介，五十嵐 陽子，勝浦 尭之，若田 ゆき，山門 亨一郎
兵庫医科大学 放射線科

MR imaging of central nervous system viral infection in pediatric age

Kumiko Ando, Reiichi Ishikura, Yusuke Kawanaka, Yoko Igarashi, Takayuki Katsuura, Yuki Wakata and Koichiro Yamakado
Department of Radiology, Hyogo College of Medicine

Abstract
Manifestations of central nervous system caused by viral infection are various including meningitis, encephalitis, myelitis, acute disseminated encephalomyelitis (ADEM) and acute encephalopathy. Fortunately, unlike bacterial infection, viral infection causes relatively specific changes on MRI. That is, each virus affects specific sites in the central nervous system, mainly gray matter, and MRI especially diffusion weighted images (DWI) can visualize the affected sites. ADEM and acute encephalopathy also have characteristic findings on MRI. This educational article reviews the typical MR imaging findings of central nervous system viral infection.

Keywords: Pediatric, Central nervous system, Viral infection, MRI

はじめに

ウイルスに関連する主な小児中枢神経障害としては，脳炎，髄膜炎，脊髄炎，脊髄根炎，acute disseminated encephalomyelitis（ADEM），急性脳症などがある．これらは，ウイルスが中枢神経を直接障害するもの（infectious disease）と，全身のウイルス感染にともなって発生するもの（parainfectious disease）がある．主に直接障害により引き起こされるものの代表は脳炎と髄膜炎であり，二次性に引き起こされるものの代表は acute disseminated encephalomyelitis（ADEM），急性脳症である．しかし，脳炎とされているものでも二次性に起こった変化の可能性があるものもある．また二次性は機序がわかっていないものも多い．

小児中枢神経障害を引き起こす主なウイルスを

Table 1 小児中枢神経ウイルス感染症

主に脳炎をおこすもの	主に急性脳症をおこすもの
単純ヘルペスウイルス* HSV-1, 2 型	ヒトヘルペスウイルス 6 型* HHV-6
水痘－帯状疱疹ウイルス* VZV	インフルエンザウイルス
エプスタイン・バーウイルス* EBV	ロタウイルス
サイトメガロウイルス* CMV	
ヒトヘルペスウイルス 6 型* HHV-6	
日本脳炎	
ロタウイルス	
（ほか，脳炎脊髄炎をおこすものとしてエンテロウイルス 71 型，D68 型がある）	

*はヘルペスウイルス科

Table 2 ヘルペスウイルス

ヘルペスウイルス科		亜科
HHV-1	単純ヘルペスウイルス 1 型 HSV-1	α
HHV-2	単純ヘルペスウイルス 2 型 HSV-2	α
HHV-3	水痘帯状疱疹ウイルス VZV	α
HHV-4	Epstein-Barr ウイルス EBV	γ
HHV-5	サイトメガロウイルス CMV	β
HHV-6	ヒトヘルペスウイルス 6 HHV-6	β
HHV-7	ヒトヘルペスウイルス 7 HHV-7	β
HHV-8	カポジ肉腫関連ヘルペスウイルス KSHV	γ

Table 1, 2 に示す．

本稿では主なウイルス感染による脳炎の画像の特徴についてウイルスごとに画像所見を述べたあと，ADEM，急性脳症について述べる．

I 脳　炎

無菌性髄膜炎を除くと，ウイルス性脳炎で多くみられる画像所見は脳灰白質（皮質，深部灰白質）の異常所見である．脳の灰白質に広がるところが，細菌性（硬膜下蓄膿や膿瘍）との鑑別点である．それぞれのウイルスで好発部位がある．側頭葉内側（辺縁系）なら HSV1,2 や HHV6，基底核視床なら EBV，小脳ならロタウイルスを考える．また，中大脳動脈領域脳梗塞なら VZV などを考える．逆にいうと，小児で脳梗塞と MRA での血管狭窄をみたら VZV によるものを考えて精査を進める．感度は急性期には拡散強調画像が最も良い．先天性 CMV 感染は新生児期はわかりにくいのでフォローアップが必要である．造影は多くの場合必須でないが，エンテロウイルス D68 の脊髄根炎の描出には必須である．すなわち感冒様症状後，弛緩性麻痺を伴う小児では造影を考慮する．

1. 無菌髄膜炎（Fig. 1）

ウイルス性のいわゆる無菌性髄膜炎は小児の中枢神経感染症中最も多い．原因ウイルスは同定されないことも多い．同定されたものでは 85%がエンテロウイルスとされている．夏に多く，幼児から学童期の発症が多い．基本的に予後が良く合併症なく改善する．画像検査は多くの場合ほかの脳炎や髄膜炎を否定するために行われる．CT では異常がないか，脳溝が狭いなど軽度の脳浮腫の所見をみるのみである．MRI では脳溝の狭小化と造影後 FLAIR での脳溝の高信号化がみられることがある．

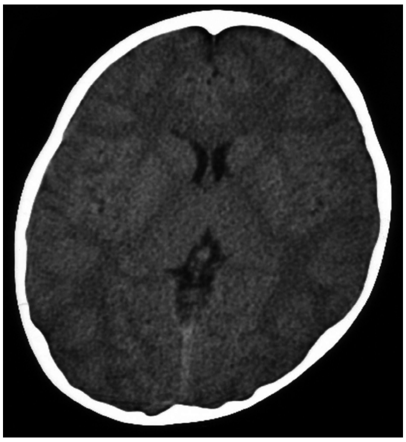

Fig. 1　**3 歳男児　無菌性髄膜炎　単純 CT**
頭痛単純 CT にて脳溝が全体に狭小化している．

まず，頻度の高いヘルペスウイルス科のウイルスについて述べる．

2. 単純ヘルペス脳炎（herpes simplex virus 1,2/human herpes virus 1,2; HSV-1,2/HHV-1,2）（Fig. 2–4）

単純ヘルペス脳炎は全中枢神経ウイルス感染症の 20%を占める．初感染後，HSV-1 は三叉神経に潜伏し，HSV-2 腰髄神経節に潜伏するとされている．脳炎は新生児，小児－成人発症ともに HSV-1 によるものが多い．症状は非特異的で発熱，痙攣，頭痛，巣症状などがみられる．髄液所見も非特異的で画像とくに MRI が早期診断に役立つ．神経学的予後はしばしば不良である．また再発を繰りかえすことも特徴的である．経過中に N-methyl D-aspartate 受容体抗体が陽性となり，いわゆる脳炎（anti-NMDE receptorencephalitis）をきたす例が若年成人で報告されている[1]．

画像所見は新生児期発症のものと，それ以降で分

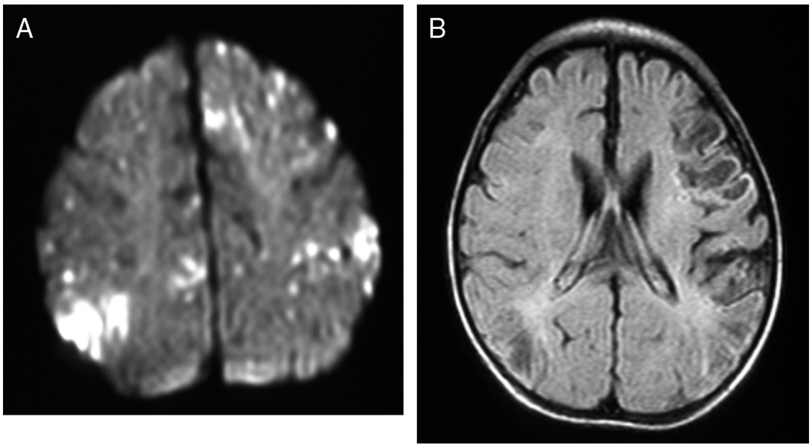

Fig. 2　日齢 18 女児　新生児ヘルペス脳炎　HSV-1

A：発症 20 時間後拡散強調画像．B：30 日後 FLAIR 画像．帝京大学放射線科　豊田圭子先生のご厚意による．正常満期産で出生．周産期に特記事項なし．日齢 17 に痙攣で発症．急性期の画像で大脳皮質皮質下に多発性の拡散強調画像高信号をみる．数日の経過で病変が広がった．慢性期には FLAIR で低信号となり多嚢胞性脳軟化症に似る．

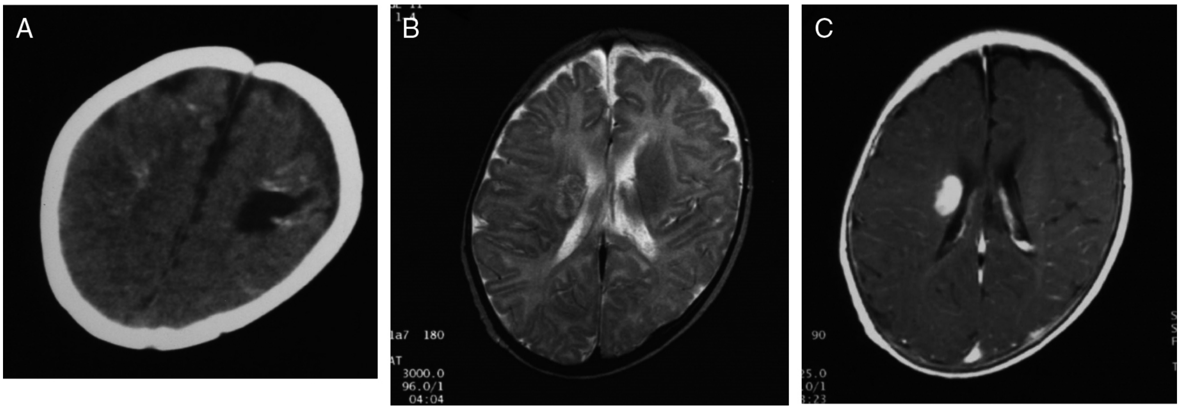

Fig. 3　4 か月女児　新生児単純ヘルペス脳炎再燃　HSV-2

A：CT．B：T2 強調画像．C：造影後 T1 強調画像．正常満期産で出生．生後 3 週間目に痙攣で発症．一度寛解したが，4 か月後に再度痙攣をきたした．CT にて，左中心溝周囲皮質下白質に嚢胞性変化を認め，皮質に石灰化を伴う．石灰化は対側にもみられる．病変部は T1 強調画像で不均一な高信号を，T2 強調画像で低～高信号を示している．造影後 T1 強調画像にて増強効果を認める．

布が異なっている．これは中枢神経にいたる経路の違いと考えられる．共通するのは急性期の拡散強調画像高信号（発症直後目立たなくても数日の経過で広がることがある）と，経過中の T2*強調画像や SWI（磁化率変化を観察する画像）での出血性変化，慢性期の嚢胞性変化や石灰化である．

新生児ヘルペス脳炎ではしばしば血行性にウイルスが脳にいたり，大脳皮質および皮質下に多発性脳梗塞のような所見をきたす．すなわち，急性期に拡散強調画像で多発性の高信号域を認める．しばしば造影剤による増強効果がみられる．慢性期には T2 強調画像で高信号，FLAIR で低信号となり，多嚢胞性脳軟化症に似た画像となる（Fig. 2, 3）．ただし，新生児でも成人同様の経路で側頭葉内側病変をきたしうる．

小児から成人では，ウイルスが三叉神経節から脳内に入り，辺縁系脳炎をおこす．すなわち側頭葉内側部から島部，前頭葉下部から帯状回に病変を形成する．しばしば両側性である．画像所見は成人のヘルペス脳炎と類似する．病変部に拡散強調画像で高信号を認める．急性期は拡散強調画像の感度が高い印象がある．造影では脳軟膜に信号増強効果をみるが，造影は必須ではないと筆者は考える（Fig. 4）．

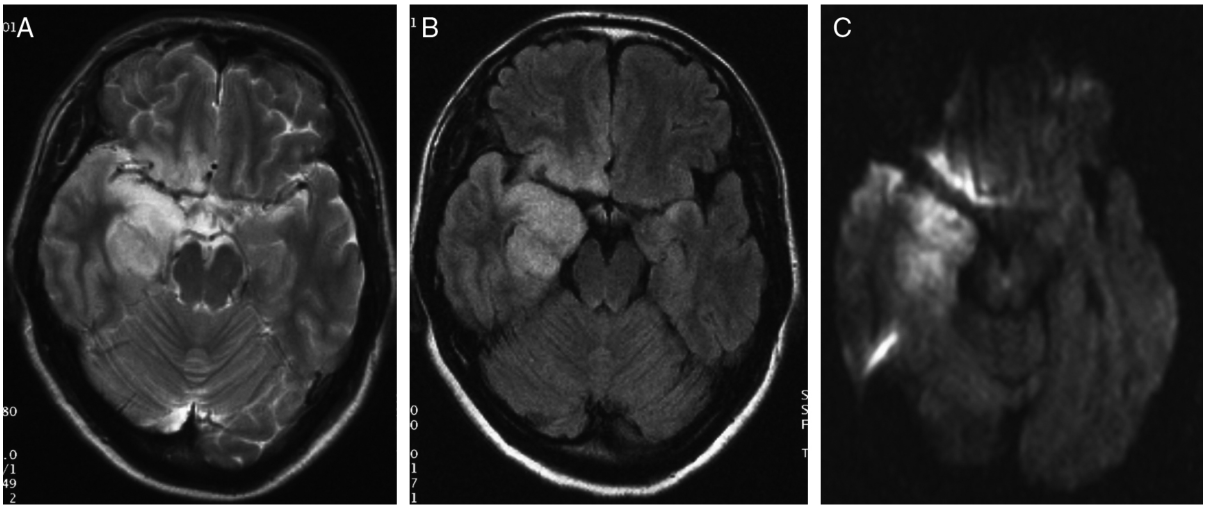

Fig. 4　**49 歳女性　単純ヘルペス脳炎　HSV-1**
A：T2 強調画像．B：FLAIR 画像．C：拡散強調画像．発症 3 日後の MRI で右側頭葉と右前頭葉底部に，T2 強調画像，FLAIR 画像，拡散強調画像で高信号域を認める．

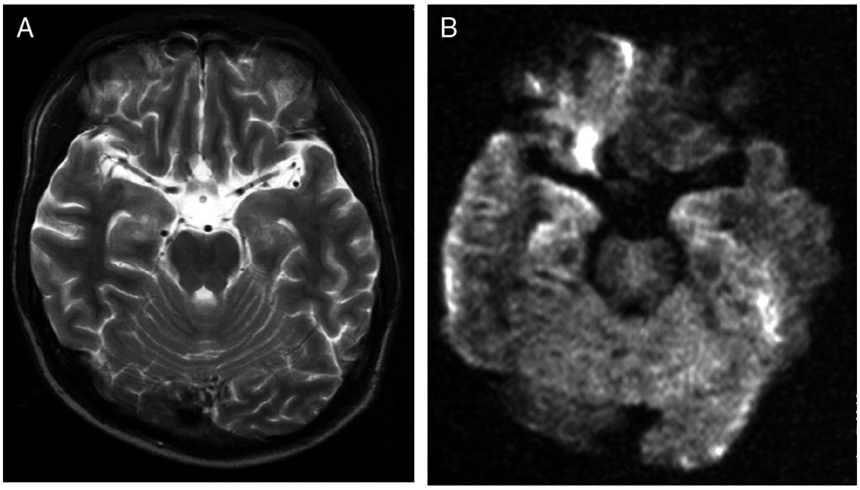

Fig. 5　**19 歳男性　造血幹細胞移植後 HHV-6 による脳炎**
A：T2 強調画像．B：拡散強調画像痙攣．意識障害発症後 1 日の MRI にて，両側側頭葉内側に T2 強調画像，拡散強調画像で高信号域を認める．

3. ヒトヘルペスウイルス 6 型（human herpes virus 6; HHV-6）

HHV-6 は HHV-7 やヒト CMV とともに β ヘルペスウイルス亜科に属する．乳児突発性発疹の原因ウイルスで，免疫性細胞とともに神経系細胞に感染する．脳炎および急性脳症（AESD）の原因となる．脳炎は主に同種造血幹細胞移植後，臓器移植後早期など免疫抑制状態でみられる．好発部位は成人の単純ヘルペス脳炎同様に側頭葉内側で，画像所見も類似する．健常乳児小児で主に問題となるのは急性脳症，特に痙攣重積型（二相性）急性脳症（Acute encephalopathy with biphasic seizures and late reduced diffusion; AESD）である（後述）（Fig. 5）．

4. 水痘ー帯状疱疹ウイルス感染症（varicella-zoster virus; VZV）（HHV-3 HHV α 亜科）（Fig. 6）

小児期に初感染し水痘を発症．その後三叉神経節，後根神経節，自律神経節に潜伏して，免疫低下などとともに主に後根神経節内で再賦活化し，帯状疱疹をきたす．その際に，脳炎や脳血管炎をきたす．VZV 中枢神経合併症をきたした患者のうち，免疫抑制状態のものは 10–38%とされており，免疫正常なものにも発生しうる．水痘や帯状疱疹から脳炎，脳血管炎までの期間は数週から数年であることもあり，発症時に皮疹がないこともあるので注意を要する．髄液中の VAV-DNA PCR 検索は診断に有用である．脳炎は脳血管炎よりも多いとされているが，画像上は

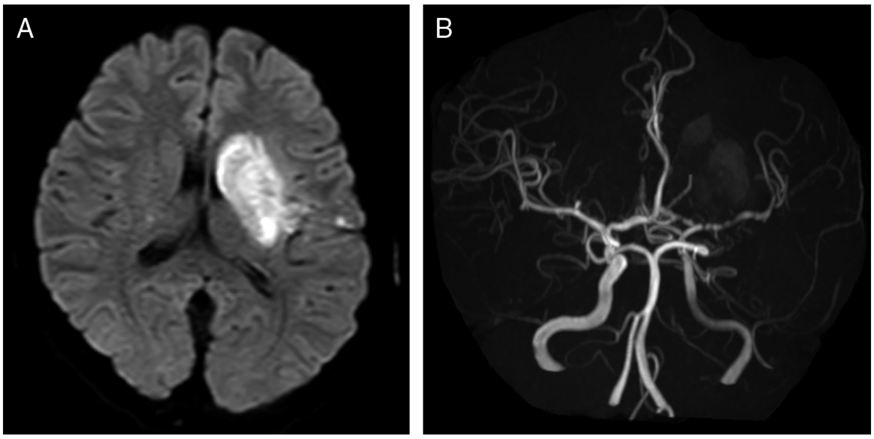

Fig. 6　**12 歳男児　水痘ー帯状疱疹ウイルス感染症**
A：第 2 病日拡散強調画像．B：第 7 病日 MRA．8 歳時に水痘に罹患した．頭痛，右半身麻痺，意識障害で発症．発症 2 日目の MRI 拡散強調画像で，左基底核に高信号域を認める．同時に行われた MRA にて血管狭窄はみられなかったが，第 7 病日の MRA で左中大脳動脈に数珠状の狭窄を認める．

しばしば異常を認めない（いわゆる無菌性髄膜炎）．

脳血管炎（VZV vasculopathy）は大中血管型（large vessel unifocal vasculopathy）と小血管型（small vessels multifocal vasculopathy）の二つに分類される．大中血管型は前または中大脳動脈など大中血管に狭窄や閉塞，時に動脈瘤（解離性動脈瘤ふくむ）をきたして，梗塞や出血をきたす病変である．しばしば片麻痺で発症する．三叉神経から主幹動脈近位部の血管平滑筋にウイルス感染をきたしたものと考えられている．画像はいわゆる脳梗塞の所見で時に出血を伴う．MRA での血管狭窄は典型的には分節状（数珠状）である（Fig. 6）．小血管型は免疫不全例に多いとされ，灰白質白質境界域に多発性散在性の T2 強調画像，FLAIR 高信号域を認める．脱髄性病変であるという説もある[2]．

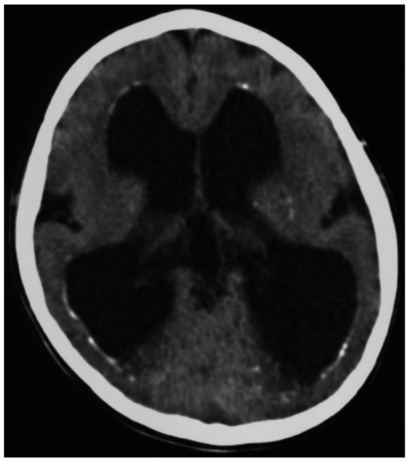

Fig. 7　**3 歳男児　先天性サイトメガロウイルス脳炎**
CT にて側脳室は著明に拡張，脳室壁に沿った石灰化がみられる．シルビウス裂が浅く開いている．前頭葉は皮質が厚く脳溝が浅い，また後頭葉脳回がほとんどみられない．多少脳回 polymicrogyria が疑われる．

5. サイトメガロウイルス感染症（cytomegalovirus; CMV）（HHV-5 8）（Fig. 7, 8）

サイトメガロウイルスは神経系，肺，肝，水，消化管，腎，膀胱など全身臓器に感染する．乳幼児期に不顕性感染したものが免疫抑制状態で脳炎をきたす（画像所見は非特異的だが脳室上衣炎が特徴とされる）ことが小児から成人では問題だが，新生児から乳児では先天性 CMV 感染症が問題となる．妊婦が CMV に初感染すると 33–40%で胎児が感染する（経胎盤，産道，母乳）．症状は無症状から重篤なものまで様々である（低出生体重，黄疸，出血斑，肝脾腫，小頭症，脳内（脳室周囲）石灰化，肝機能異常，血小板減少，難聴，脈絡網膜炎，DIC など）．近年，母の CMV 抗体保有率が低下しているため，先天性 CMV 感染症の可能性が上昇している．生後 3 週以内の尿からウイルスが分離されると確定される．臍帯血や新生児血の CMV IgM は陰性である場合もある．ウイルスの DNA の PCR 診断が有用である．MRI では，いわゆる小頭症，多小脳回や滑脳症などの大脳皮質形成異常，そして非特異的な白質の多発病変（T2 強調画像，FLAIR 画像で高信号）がみられる（Fig. 7, 8）．出生直後は多小脳回も薄く正常との区別が難しい．また白質の髄鞘化が未熟で正

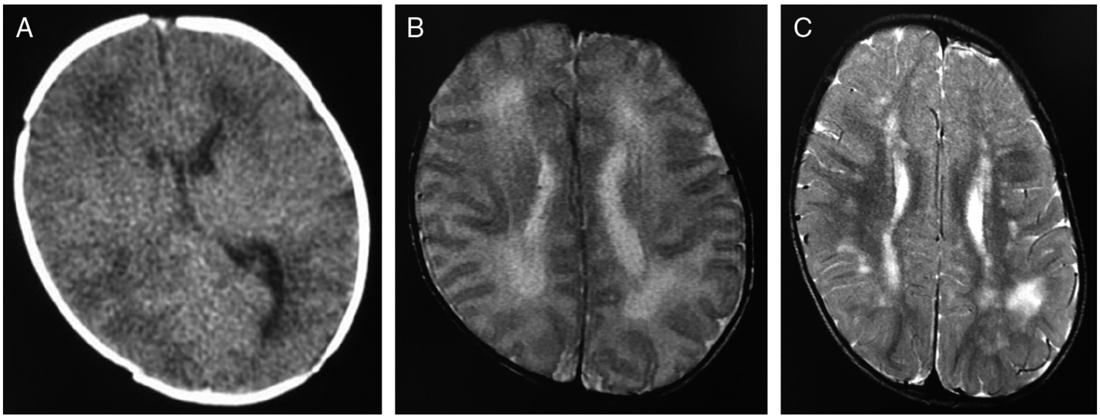

Fig. 8　**生後 14 日　先天性サイトメガロウイルス脳炎　公立昭和病院症例**
帝京大学放射線科大場洋先生のご厚意による．A：生後 14 日 CT．B：生後 14 日 MRI T2 強調画像．C：1 歳時 MRI T2 強調画像．正常満期産で出生，Apgar 正常．生後 14 日，発熱，哺乳力低下，PCR で先天性サイトメガロウイルス感染症と診断．1 歳時の MRI では，多少脳回が疑われるとともに，大脳白質に斑状 Flair 高信号病変が多発している．先天性サイトメガロウイルス感染に合致する像だが，14 日の時点では指摘が難しい．

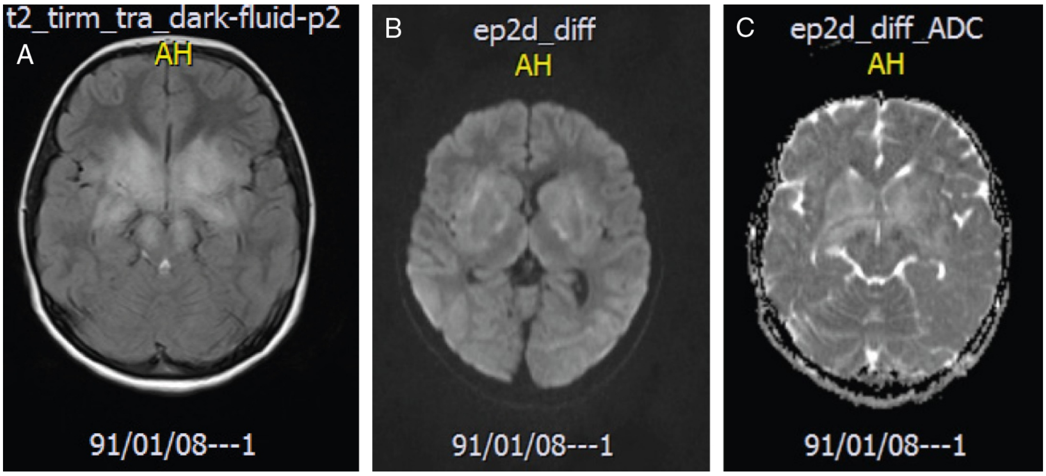

Fig. 9　**10 歳女児　EBV ウイルス脳炎（文献 3 の Fig. 1, 2 を転載）**
A：FLAIR 画像．B：拡散強調画像．C：ADC map．両側基底核と視床下部，側頭葉，脳幹に FLAIR 高信号を認める．拡散強調画像で不均一な高信号だが FLAIR に比べて不明瞭である．ADC は上昇している．いわゆる細胞外の浮腫を示す所見である．

常でも T2 強調画像，FLAIR 画像で高信号を示すため，白質病変も診断が難しい．フォローアップが必要である．

6. エプスタイン・バー ウイルス感染症（Epstein-Barr virus; EBV）（HHV-4）（Table 3, Fig. 9, 10）

EBV は唾液などを介して咽頭扁桃から侵入し，リンパ球の B 細胞に直接感染，潜伏する．初感染，再不活化，自己免疫機序，腫瘍性増殖など多彩な神経症候を引き起こす[2]（Table 3）．よって画像も非常に様々である．症状として有名なのは不思議の国のアリス症候群（知覚された外界のものの大きさや自分の体の大きさが通常とは異なって感じられること）である．脳炎としては，両側基底核と視床の T2 強調画像，FLAIR 画像での高信号が特徴とされている．拡散制限はみられない（＝拡散強調画像で様々な信号だが，ADC は正常または上昇する）[3,4]（Fig. 9）．なお，日本では基底核視床病変をきたすウイルスとして，日本脳炎も鑑別にあげなくてはならない[5]．他に視神経病変や皮質・皮質下白質病変，脳幹，小脳病変をみる．筆者らの施設で経験した皮質病変を認めた若年成人例を Fig. 10 に示す[6]．

以上，ヘルペスウイルス科のウイルスによる脳炎について述べた．

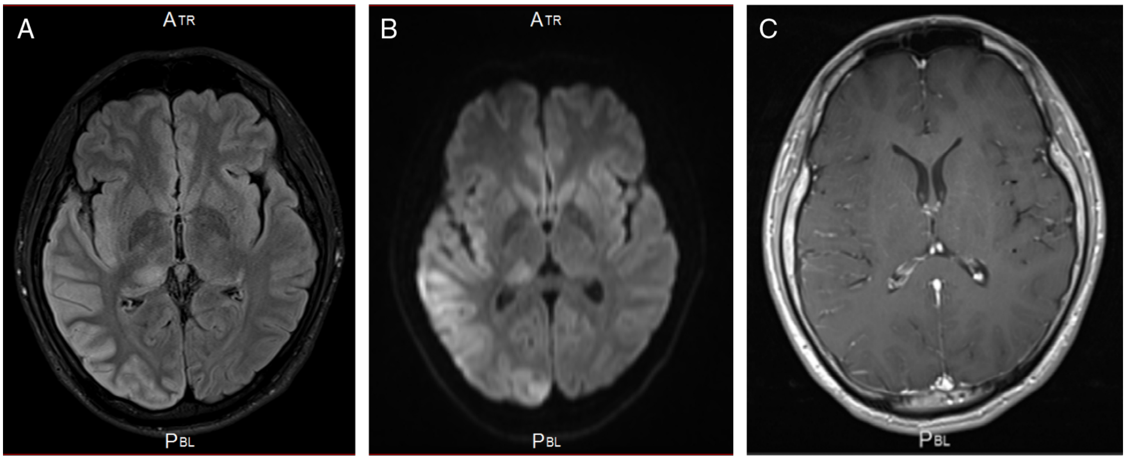

Fig. 10　**20 歳代男性　EBV ウイルス脳炎**
クローン病術後，インフリキシマブ治療中．痙攣発作で発症．初回痙攣から 10 日後，痙攣重積と発熱をきたした．A：FLAIR 画像．B：拡散強調画像．C：造影後 T1 強調画像．FLAIR 画像と拡散強調画像で，右側頭葉から後頭葉に高信号を認める．造影にてクモ膜軟膜の造影を認める．なお，画像所見は痙攣に伴う変化の可能性もある．右視床の病変は二次性変化と考える．

Table 3 **エプスタイン・バー ウイルス感染症（Epstein-Barr virus; EBV）（HHV-4）**

・EBV 初感染（伝染性単核球症含む）と再活性化
－髄膜炎，脳炎，小脳炎，脊髄神経根炎，視神経炎，顔面神経麻痺
・自己免疫的機序によるもの
－ADEM，急性小脳炎，ギランバレー症候群，CIDP
・EBV 感染細胞の腫瘍性増殖
－CAEBV，EBV + HLH，移植後リンパ増殖症，AIDS 関連中枢神経原発悪性リンパ腫，リンパ腫様肉芽腫症

慢性活動性 EBV 感染症（chronic active EBV infection; CAEBV），EBV 関連血球貪食性リンパ組織球症（EBV-associaged hemophagocytic lymphohistiocytosis; EBV + HLH）

ヘルペス科以外で脳炎をきたすものとしては，ロタウイルス（小脳炎），日本脳炎ウイルス（基底核，視床）などがある．また，脳幹炎と脊髄根炎をきたすものとして，エンテロウイルス 71 型，D64 型がある．インフルエンザウイルスは急性脳症をきたすことが知られているが，脳炎を起こすことは少ない．また，近年胎児に小頭症をきたす原因として注目されたジカウイルス感染症が報告されている．

7. ロタウイルス感染症（rotavirus）

ロタウイルスは子供の胃腸炎の病気で一般的である．神経学的な症状としては胃腸炎に伴って痙攣，脳炎，急性脳症は 2–5%と報告されている．日本では急性脳症，特に MERS の原因とされている．他に小脳炎をきたす．胃腸炎の 2–4 日目に意識障害，mutism（無言症），急性小脳症状を伴う．けいれんのみられることもある．MRI では脳皮質，歯状核に T2 強調画像，FLAIR 画像高信号を認める[7]（Fig. 11）．

8. エンテロウイルス 71 型，D68 型（Enterovirus 71, D68）

エンテロウイルス属には，ポリオウイルスや，無菌性髄膜炎の原因となるエコーウイルス，手足口病の原因となりうるエンテロウイルス（EV）71 型，EV-68 型などが含まれる．このうち，近年，感冒様症状のあと，弛緩性麻痺を伴う脊髄炎の患者から EV-D68 が検出された例が欧米（米国 2014 年）や日本（2015 年）から報告されている[8]. Parainfectious disease と推察されている．脳 MRI にて，脳幹背側，歯状核の T2 強調画像，FLAIR 画像高信号，脊髄 MRI にて脊髄の腫大（典型的には脳幹から全脊髄にもわたる long segment），特に前角の T2 強調画像，FLAIR 画像高信号，造影で脊髄前根の造影効果がみられることがある．すなわち，小児で感冒，弛緩性麻痺で脊髄 MRI を撮影するときは，造影を考慮することが重要である[8]．典型的画像は文献 8（http://www.ajnr.org/content/early/2014/11/20/ajnr.A4188.full.pdf）を参照いただきたい．

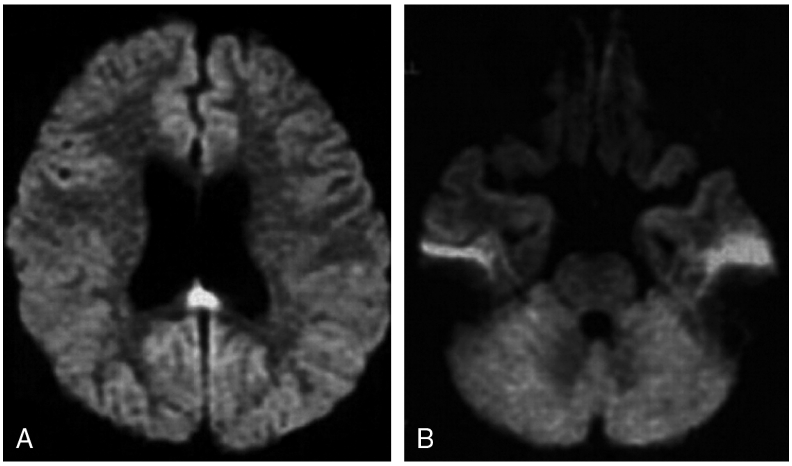

Fig. 11　**4 歳女児　ロタウイルス小脳炎，および MERS**
A，B：拡散強調画像．東京女子医科大学八千代医療センター小児科 高梨潤一先生のご厚意による．発症 6 日後の MRI 拡散強調画像で両側小脳半球および脳梁膨大部に高信号を認める．第 13 病日の MRI では脳梁膨大部病変は消退したが，小脳は FLAIR 高信号となり，のちに萎縮した．

9. ジカ熱，ジカウイルス感染症（Zika fever, Zika virus disease）

ジカ熱は蚊を媒介者とする感染症で多くは無症候性である．20–40%に発熱，関節筋肉痛，頭痛，皮疹，結膜充血などをみる．小児に関して問題とされているのは，胎盤を介しての母子垂直感染によると思われる小頭症である．2015–2016 年ブラジルで報告が相次いだ．CT で大脳特に皮髄境界の石灰化，MRI で単純脳回，多小脳回，滑脳症を伴う大脳の低形成，脳室拡大が報告されている．重症例では脳幹小脳も低形成である．画像については文献 9 の論文（http://www.bmj.com/content/353/bmj.i1901）を参照されたい．

II　急性散在性脳脊髄炎（acute disseminated encephalomyelitis; ADEM）（Fig. 12）

ADEM の定義や診断基準は実は確定していない[10]．小児急性脳症診療ガイドライン 2016[11]では急性脳症には含まれていない．典型的には麻疹，ムンプス，インフルエンザ，水痘，伝染性単核球症などのウイルス感染や予防接種の 1～3 週間後に発熱や頭痛といった症状から始まり，その後多彩な神経症状や意識の変容をきたす．先行感染や予防接種歴のないこともある．若年者に多く，多くは単相性（再発することもある）で神経学的予後良好の炎症性脱髄疾患．自己免疫学的な機序が考えられている．劇症型は急性出血性白質脳症（acute hemorrhagic leukoencephalopathy; AHLE）とよばれている．

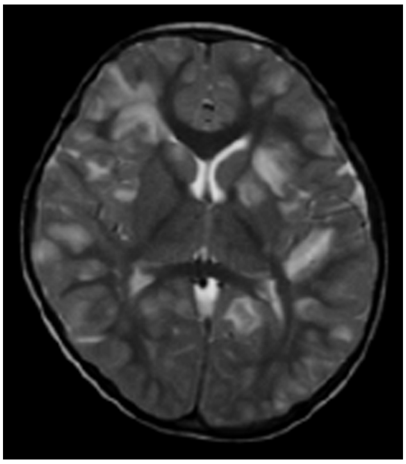

Fig. 12　**2 歳女児　ADEM**
1 か月前にポリオワクチン摂取歴がある．意識変容と頭痛，嘔吐にて発症．発症 5 日後の MRI T2 強調画像で両側大脳皮質下白質，基底核に多発性の高信号域を認める．

MRI で T2WI や FLAIR での高信号を呈する多発性・両側非対称性病変を認める．FLAIR の感度が最も高い．画像所見は臨床経過に遅れることが多く，発症時には画像所見に異常を認めないこともある．異常信号は皮質下白質，基底核，視床，小脳，脳幹，脊髄などにみられる．拡散強調画像ではしばしば異常信号を示さない．造影では斑状からリング状の増強効果を示すことがある．造影されないことも多い．

Table 4 急性脳症の定義

・JCS 20 以上（GCS 10〜11 以下）の意識障害が急性に発症し，24 時間以上持続する.
1）ほとんどは感染症の経過中に発症する.
2）多くは頭部 CT・MRI で脳浮腫が描出される.
3）脳炎・髄膜炎など他の疾患が否定される．意識障害は睡眠，薬物（抗けいれん薬・麻酔薬）の副作用，心因性発作でない.

Table 5 急性脳症の臨床病理学的分類（文献 11 より改変）

1. 代謝異常を主な病態とする病型
・古典的 Rye 症候群
・各種の先天代謝異常症
2. サイトカインストームを主な病態とする病型
・急性壊死性脳症（ANE）
・Hemorrhagic shock and encephalopathy 症候群（HSES）
・急性脳腫脹型，びまん性脳浮腫型 Rye-like syndrome
3. けいれん重責を伴う病型（興奮毒性型急性脳症）
・けいれん重積型急性脳症，二相性急性脳症（二相性痙攣と遅発性拡散能低下を呈する急性脳症，AESD）
4. そのほかの急性脳症
・可逆性脳梁膨大部病変を有する軽症脳炎・脳症（MERS）
・Daret 症候群に合併する脳症
・副腎不全（先天性副腎皮質過形成）に合併する脳症
・そのほかの脳症
・分類不能の脳症

数か月の経過で異常所見は軽快する．発症数週間で出血ではない T1WI 高信号域が現れ，数か月〜1 年ほどの経過で消失することがある．出血を伴うものは予後不良とされる（AHLE）.

III　急性脳症

急性脳症の統一された定義はないが，小児急性脳症診療ガイドライン 2016 の定義を Table 4 に示す．同ガイドラインによると，病理学的には急激で広範囲な非炎症性脳浮腫による機能障害であり，臨床的にはほとんどの場合感染症に続発し，急性発症して意識障害を主徴とする症候群である，とされている[11]（Table 4）.

小児期に多く，先行感染はウイルスが多い．（インフルエンザ，HHV-6，ロタウイルスの順）急性脳症の本邦での発症は年間 400–700 例とされている[11].

先行感染症の病原による分類と，脳症の臨床病理学的分類がある．Table 5 に小児急性脳症診療ガイドライン 2016 による臨床病理学的分類を示す[11]．症候別には，AESD（29%），MERS（16%），ANE（4%）の順で多いとされている．分類不能型が 44% を示すことも知っておくべきである．また，画像で異常所見がみられないから急性脳症が否定されるものではない．インフルエンザは MERS，ANE の先行感染として多く，AESD の先行感染としては HHV-6 が多い.

画像で最も感度が高いのはいずれも拡散強調画像である．特に急性期，拡散強調画像の強い高信号に比べて T2WI/FLAIR 画像での異常信号が見えにくいのは急性脳症の特徴である.

1. けいれん重積型急性脳症，二相性急性脳症（二相性痙攣と遅発性拡散能低下を呈する急性脳症）(acute encephalopathy with biphasic seizures and late reduced diffusion; AESD)（Fig. 13）

二相性のけいれん（発熱当日または翌日のけいれんの後，一旦意識障害が改善するが，3〜7 病日のけいれん再発）と遅発性の拡散脳低下を特徴とする．脳内のグルタミンなどによる興奮毒性が関与していると推測されている．原因病原体は HHV-6，インフルエンザウイルスの頻度が多い．日本の急性脳症の中で最も多い（29%），平均年齢は 1.7 歳（中央値 1 歳）である[11]．典型的には第 1，2 病日の CT，MRI は正常だが，3〜14 病日の MRI 拡散強調画像で皮質下白質（bright tree appearance）や皮質に高信号を認める．中心溝周囲は保たれる（central sparing）．それ以降，前頭葉，頭頂葉に萎縮をきたす．ESD 様

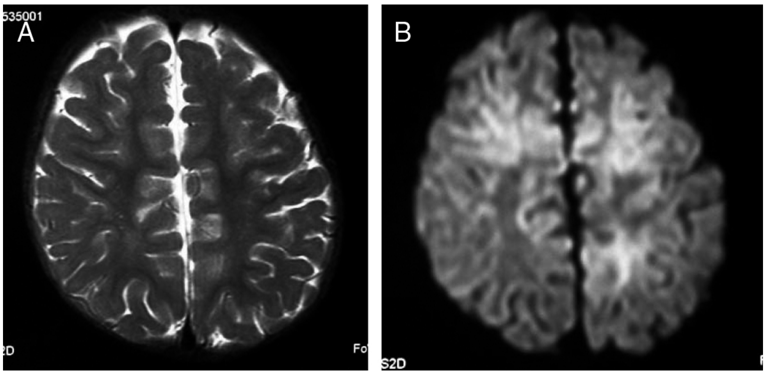

Fig. 13　**2 歳女児　AESD**
A：T2 強調画像．B：拡散強調画像．発熱後痙攣で発症．痙攣を繰り返すため発症後 2 日で MRI が撮影された．T2 強調画像では不明瞭だが，拡散強調画像で両側前頭葉と左頭頂葉の皮質下白質に樹枝状の高信号域がみられる．中心溝近傍は保たれていた．

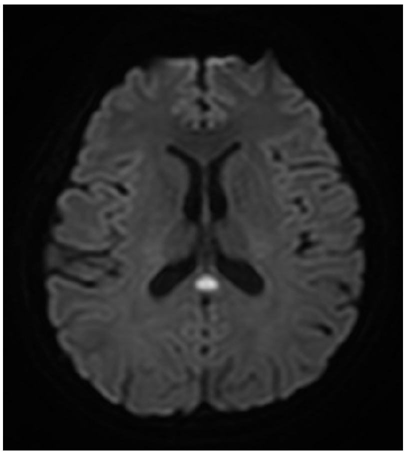

Fig. 14　**21 歳男性　reversible splenial lesion**
MRI 拡散強調画像にて，脳梁膨大部に楕円形の高信号域を認める．

の症状を示しても，MRI で bright tree appearance がない症例がある．治療法は確立していない．生命予後は通常良いが，神経学的予後はしばしば不良である．また二相目に急激に脳浮腫が進行し生命予後に関わる症例がある．

2. 可逆性脳梁膨大部病変を有する軽症脳炎・脳症（mild encephalitis/encephalopathy with a reversible splenial lesion; MERS）（Fig. 14）

発熱後 1 週間以内に異常言動，行動，意識障害，痙攣などで発症し，拡散強調画像で脳梁膨大部に高信号をみるが，その後 1 か月以内に後遺症なく回復する．発生機序は不明である．原因病原体はインフルエンザウイルス，次いでロタウイルスが多い．小児の急性脳症の中で AESD に次いで多く，平均発症年齢は 5.6 歳である[11]．MRI 拡散強調画像で，楕円形の高信号域を脳梁膨大部中央にみるが，2 か月以内に消退する．脳梁膨大部病変以外にも前頭葉や錐体路などに異常信号をみる例も報告されている[12]．なお，可逆性脳梁膨大部病変は感染のほか，抗てんかん薬の中断や高山病，低ナトリウム血症，低血糖，Charcot Marie Tooth 病など様々な疾患で報告されており，reversible splenial lesion syndrome と呼ばれている．全て同じ楕円形の拡散強調画像高信号が現れて消えることは興味深い．

3. 急性壊死性脳症（acute necrotizing encephalopathy of childhood; ANE）（Fig. 15）

発熱を伴うウイルス感染に続発して意識レベルの急激な低下と痙攣を認め，CT，MRI で両側対称性，多発性脳病変（特に視床病変）をみることを特徴とする．全身のサイトカインストームが関与すると考えられている．原因病原体はインフルエンザウイルス，次いで HHV-6 が多い．小児の急性脳症の中で 4%を占め，平均発症年齢は 3.3 歳（中央値 2 歳）である．日本，台湾，韓国からの報告が多い．CT，MRI で両側視床病変は必発で，CT では中心部が高吸収，周囲が低吸収，MRI 拡散強調画像で周囲の高信号，T2 強調画像で中心の強い高信号と周囲の高信号を示す．他に大脳側脳室周囲白質，内包，被殻，上部脳幹，小脳髄質にも病変をみる．しばしば脳は全体に腫脹する．発症早期のステロイドパルス両方が推奨されている．生命予後と神経学的予後共に不良である．

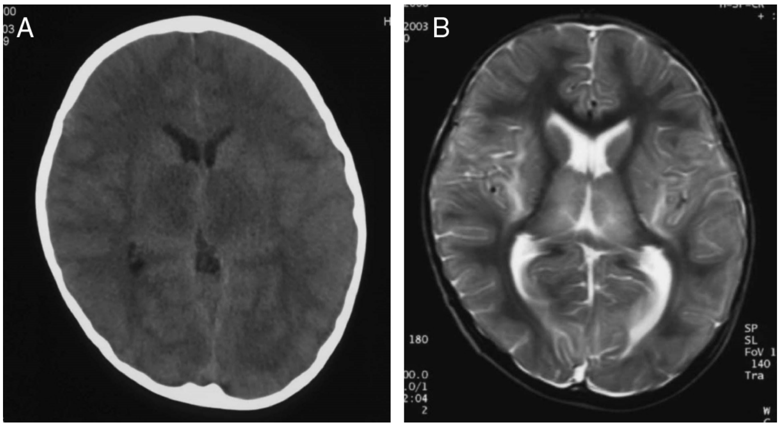

Fig. 15　3 歳男児　ANE
A：CT．B：T2 強調画像．感冒症状と高熱後痙攣で発症した．発症 1 日の CT にて脳は全体に浮腫状で両側視床に低吸収域を認める．2 週間後の MRI T2 強調画像にて両側視床に対称性に不均一な高信号域を認める．内部に特に高信号の強い部分がある．

おわりに

小児中枢神経感染症では，発熱，感冒様症状と同時またはそのあと，けいれんや意識障害をきたした時に中枢神経感染症が疑われて CT，MRI 検査が行われることが多いと思われる（なお，画像診断ガイドラインでは単純型熱性けいれんで画像検査は推奨されていないが，実際には検査を依頼されることも多いと考える）．ここではウイルス感染症について述べたが，当然細菌感染による髄膜脳炎や脳炎・脳膿瘍も考慮して診断を進めねばならない．細菌感染による髄膜脳炎や脳炎・脳膿瘍の診断には造影検査が有用である．また，VZV による血管炎の様に，脳梗塞をきたした児でも中枢神経ウイルス感染症を想起する必要がある．

ウイルス感染症による中枢神経障害では脳炎，急性脳症ともに拡散強調画像が早期の感度がもっとも高い．拡散強調画像はなんとしても撮影することが大切である．ただし，ADEM で最も感度が高い画像は FLAIR 画像である．急性脳症は分類不能例も多いので，パターンにとらわれず画像所見を丁寧にひろうことが大切と考える．

後遺症なく治療が可能な早期に MRI で診断できる．そんな日が来るように，画像診断医は努力しなければならないと思います．

謝　辞

本稿執筆にあたり沢山の方々にご協力とご教授をいただきました．多大なご協力をくださった，帝京大学放射線科　大場洋先生，帝京大学放射線科　豊田圭子先生，東邦大学放射線科　寺田一志先生，東京大学放射線科　森墾先生，東京女子医科大学八千代医療センター小児科　高梨潤一先生，徳島県立中央病院小児科　岡田朝美先生，都立神経病院神経小児科　熊田聡子先生，福岡市立こども病院小児科　吉良龍太郎先生，Department of Radiology, Taipei Univesity, Prof. Sandy U Chen, Mauricio de Nassau University, Brazil, Prof. Maria Fatima Vasco Maria（順不同）に深く感謝いたします．

文　献

1) Leypoldt F, Titulaer MJ, Aguilar E, et al.: Herpes simplex virus-1 encephalitis can trigger anti-NMDA receptor encephalitis: case report. Neurology 2014; 82: 2041.
2) 辻 省次（編）：神経感染症を究める．東京：中山書店，2014.
3) Hashemian S, Ashrafzadeh F, Akhondian J, et al.: Epstein-Barr virus encephalaitis: a case report. Iran J Child Neurol 2015; 9: 107–110.
4) Barkovibh JA: Epstein-Barr virus. In: Barkovich JA, Raybaud C, eds. Pediatric Neuroimaging (5th ed). New York: Lippincott Williams & Wilkins, 2012: 1015–1016.
5) Verma R: MRI features of Japanese encephalaitis. BMJ Case Rep 2012. DOI: 10:1136/bcr.03.2012.6088
6) 中村 優子，安藤 久美子，石藏 礼一，他：皮質病変と同時に視床枕病変を認め，その後脳梁膨大部病変を認めた EB ウイルスの脳炎の一例．画像診断 2017; in press.
7) Takanashi J, Miyamoto T, Ando N, et al.: Clinical and

radiological features of rotavirus cerebellitis. AJNR 2010; 31: 1591–1595.

8) Maloney JA, Mirsky DM, Messacar K, et al.: MRI findings in children with acute flaccid paralysis and cranial nerve dysfunction occurring during the 2014 enterovirus D68 out break. AJNR 2015; 36: 245–250.

9) Aragao MFV, van der Linden V, Brainer-Lima AM, et al.: Clinical features and neuroimaging (CT and MRI) finding in presumed Zika virus related congenital linfectionando microcephaly: retrospective case series sduty. BMJ 2016; 353: i1901.

10) Krupp LB, Banwell B, Tenembaum S, International Pediatric MS Study Group. Consensus definitions proposed for pediatric multiple sclerosis and related disorders. Neurology 2007; 68: S7–12.

11) 日本小児神経学会（監修），小児急性脳症診療ガイドライン策定委員会（編）：小児急性脳症診断ガイドライン 2016．東京：診断と治療社，2016.

12) Takanashi J, Barkovich AJ, Shiihara T, et al.: Widening spectrum of a reversible spleenial lesion with a reversible lesion with transiently reduced diffusion. AJNR 2006; 27: 836–838.

日本小児放射線学会雑誌
J Jpn Soc Pediatr Radiol 2017; 33(1): 14–18

特集 第52回日本小児放射線学会学術集会“画像を診る” ランチョンセミナー1より

当院における胎便関連腸閉塞解除の工夫—NICU内で透視下のようなガストログラフィン注腸が可能に

中原 さおり

日本赤十字社医療センター 小児外科

New protocol for resolution of meconium related ileus (MRI)

Saori Nakahara

Department of Pediatric Surgery, Japanese Red Cross Medical Center

Abstract

Meconium related ileus (MRI) is an entity of bowel obstruction described by Kubota 1995 that mainly occurs in extremely low-birth weight (ELBW) and very low-birth weight (VLBW) infants. To resolve the obstruction conservatively, application of Gastrografin® enema has been reported effective and successful to some extent. But the safest and most effective protocol of Gastrografin® enema has not been established yet. In 2014, we reported a new method that monitors the abdominal pressure during the enema. Aiming not to exceed 50 cm H_2O, all patients but two who had Hirschsprung's disease or ileal volvulus were cured conservatively within 10 days.

In this paper, we reported another improvement taking advantage of use of a flat panel detector for direct digital radiography which enables detection of more than 200 pictures with a single cassette continuously and visualization only 1 second after shooting. In this way we can see the point of reaching Gastrografin®, and the extent of colon dilatation in real time. Now we can perform Gastrografin® enema without changing the cassette, stopping the maneuver, waiting for developing, and stress of iatrogenic perforation.

Our new protocol of Gastrografin® enema using monitoring of the abdominal pressure and a new X-ray device will be helpful for resolution of MRI.

Keywords: Meconium related ileus (MRI), Gastrographin enema, Extreme low birth-weight infant

I はじめに

日本赤十字社医療センターは，今から130年前の1886年（明治19年）に博愛社病院として当時の麹町区飯田町に開院され，1921年（大正10年）に現在地に移転．翌1922年には日本赤十字社産院が開設された．同時に付属産婆養成所（当時の名称のまま）も併設され，以来周産期医療の歴史はまもなく100年を迎える．

近年の当院における出生数は年間約3,000人であり（Fig. 1），40例前後の超低出生体重児，ほぼ同数の極低出生体重児がNICUに入院している（Fig. 2）．これらの超・極低出生体重児，早産児における胎便関連腸閉塞（meconium related ileus; MRI）の解決は壊死性腸炎と並んで消化器系疾患の重要な課題である．

II 胎便関連腸閉塞（meconium related ileus; MRI）

MRIは1995年に窪田ら[1)]が提唱した疾患概念で，低出生体重児・早産児・子宮内胎児発育不全例に起こりやすい．胎便の排泄遅延を特徴とする機能的腸閉塞であり，腸管拡張，腹部膨満，嘔吐，時に消化

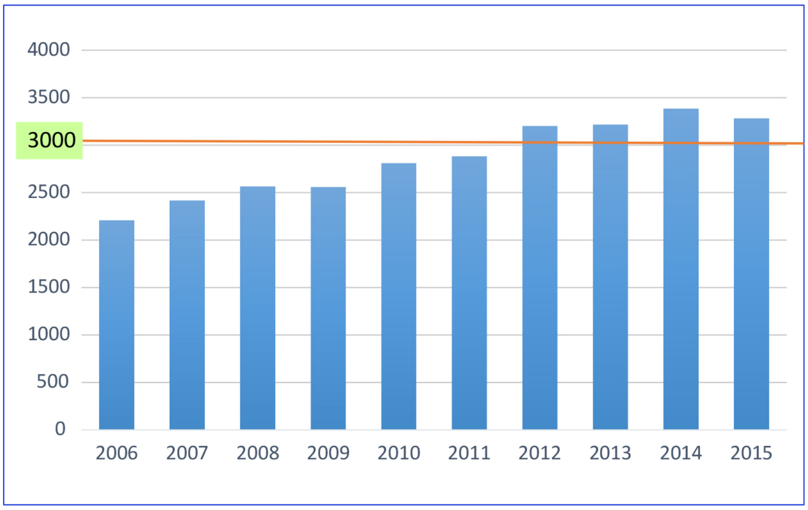

Fig. 1 当院における年間出生数の経年的推移（2006 年〜2015 年）
当院における出生数は 10 年前と比較すると徐々に増えており，年間約 3,000 例である．

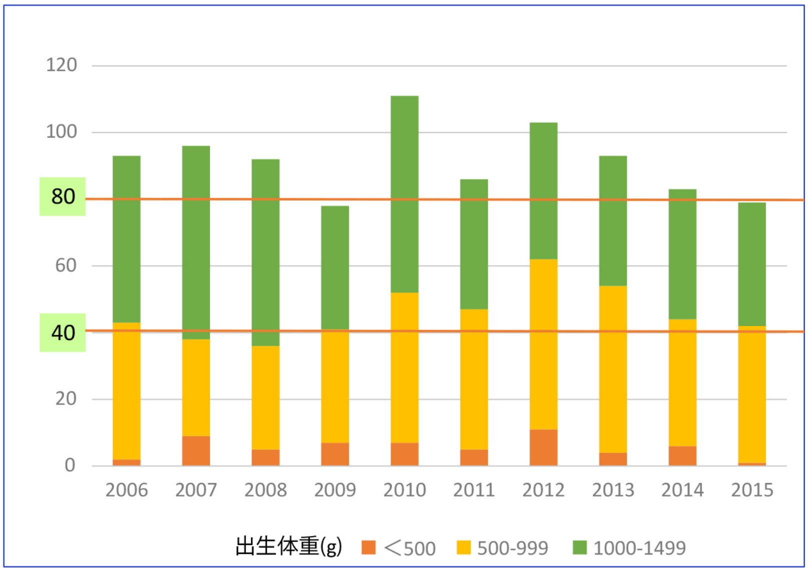

Fig. 2 当院 NICU に入院した低出生体重児数の経年的推移（2006 年〜2015 年）
NICU に入院した 1,500 g 未満の低出生体重児数は，年によりばらつきはあるものの，1,000 g 未満の超低出生体重児が年間約 40 例，1,000 g 〜1,500 g 未満の極低出生体重児が約 40 例，計約 80 例である．

管穿孔を起こす．窪田らによると，MRI における胎便栓は，胎内期の腸蠕動障害により，腸管内に停滞した胎便の水分が過剰に吸収されることによって粘稠になった結果であるとされる．多くは一過性であり，保存的治療で軽快するが，時に管理および治療に難渋し，消化管穿孔を起こすこともある．生下時より予防的にグリセリン浣腸が施行されることが多いが，効果についてのエビデンスは示されていない．

また，腸閉塞が症候性になった場合には，ガストログラフィン®を肛門から回腸末端に届くよう注入し，バウヒン弁の口側に貯留している胎便を浸軟させて腸閉塞を解除する試みが広く行われている．しかし，もともと脆弱な腸管に対してある程度の圧をかけていかなければならないため，注腸には医原性穿孔のリスクがある．一方，透視室までの移動や移動中の体温変化などは未熟な児に対してはストレスとなり，頭蓋内出血などのリスクもあるため，透視下に注腸することも容易ではない．結局，クベース

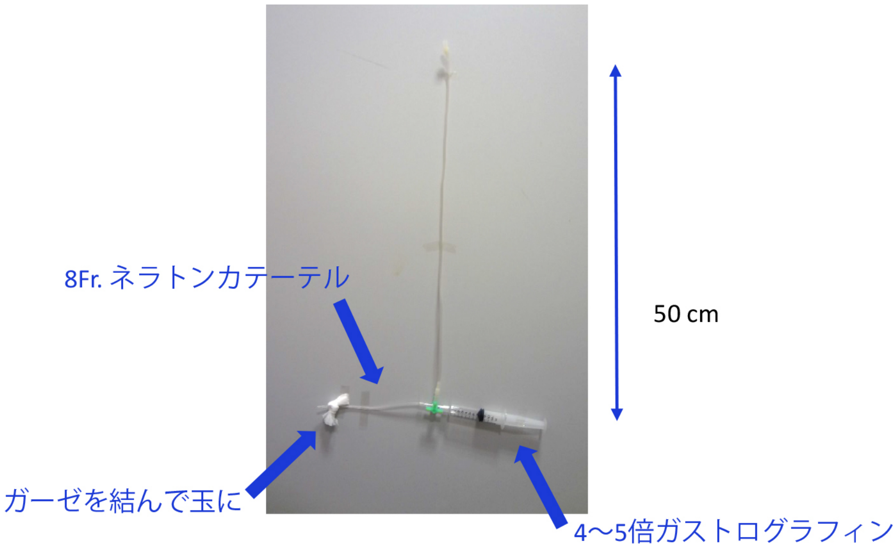

Fig. 3　腸管内圧モニタリングの工夫
8Fr.ネラトンカテーテルに三方活栓を介して点滴用の延長チューブを接続し，これを 50 cm（初回は 40 cm）の高さに固定，先端は開放しておく．解放されているので，腸管内圧は決して 50 cmH_2O を越えることはない．

内でガストログラフィン®の量（10〜15 ml/kg）だけを目安に，バウヒン弁を越えて回腸まで届かせようとする思いと穿孔の恐怖の板挟みになりながら注腸を行っているのが実情であった．

この状態から脱却し，より安全・確実に腸閉塞を解除するために当院で施行している二つの工夫について紹介する．

III　工夫①：ガストログラフィン®注腸時の腸管内圧モニタリング

2009 年以降，われわれは注腸時に腸管内圧をモニターし 50 cmH_2O 以上にならないようにしながら注腸する方法を開始した[2]．原理は簡単で，直腸内に挿入した 8Fr.ネラトンカテーテルに三方活栓を介して点滴用の延長チューブを接続し，これを 50 cm（初回は 40 cm）の高さに固定，先端は開放しておく（Fig. 3）．こうすることで腸管内圧は決して 50 cmH_2O を超えることはない．2009 年以降，これまでに MRI を疑った 36 例に対してガストログラフィン®注腸を施行し，33 例は 10 日以内に腸閉塞が解除された．ガストログラフィン®注腸を反復しても 10 日以上腸閉塞が解除されなかった 3 例に対しては開腹術を施行したが，このうち 2 例には器質的疾患があった．1 例は胎児期に起こったと思われる回腸捻転，1 例は long segment のヒルシュスプルング病であった[3]．保存的治療中の穿孔例は皆無であった．

症例を重ねていき，また，次項で述べるフラットパネル導入による安全性が確立できるようになってからは，8Fr.ネラトンカテーテルの代わりに 8Fr.バルーン付カテーテルを使用している．

IV　工夫②：FUJIFILM DR CALNEO mini による造影剤先進部の確認

前述の圧モニタリングにより，より効果的により大胆にガストログラフィン®注腸が可能になったが，造影剤先進部の確認にはやはり一度手技を中断し，カセッテを取り出し現像を待つ必要があった．しかし，2015 年に FUJIFILM DR CALNEO mini が導入されてからは，カセッテをクベースに入れたまま 1 枚のカセッテで繰り返し撮影が可能となり，しかも，1 秒後にはその場でプレビュー画像を見られるようになったため，透視下に近い感覚で造影剤の先進部や腸管にかかる圧を確認できるようになった．Fig. 4 に実際の手技の様子を，Fig. 5 に注腸の経時的写真を示す．一連のガストログラフィン®注入の手技を中断することなく，また，途中の腸管にかかる圧を，腸管の張り具合や直線化として可視化することにより，リアルタイムに確認しながら注入することができるようになり，より安全にまた確実に回腸末端ま

Fig. 4　実際のガストログラフィン®注腸の様子

a. クベース内で三方活栓付きの 8Fr.ネラトンカテーテルを直腸内に留置
b. 三方活栓の一方に長さ 50 cm の点滴用延長チューブ（内容量 2 ml）を接続し，クベーストップ（約 40 cm の高さになる）に開放
c. カセッテを設置し連続して撮影．約 1 秒後にはモニターで画像を確認できる．
d. モニターは本体からはずすことも可能で，施行者も操作の手を放すことなく画像を確認できる．

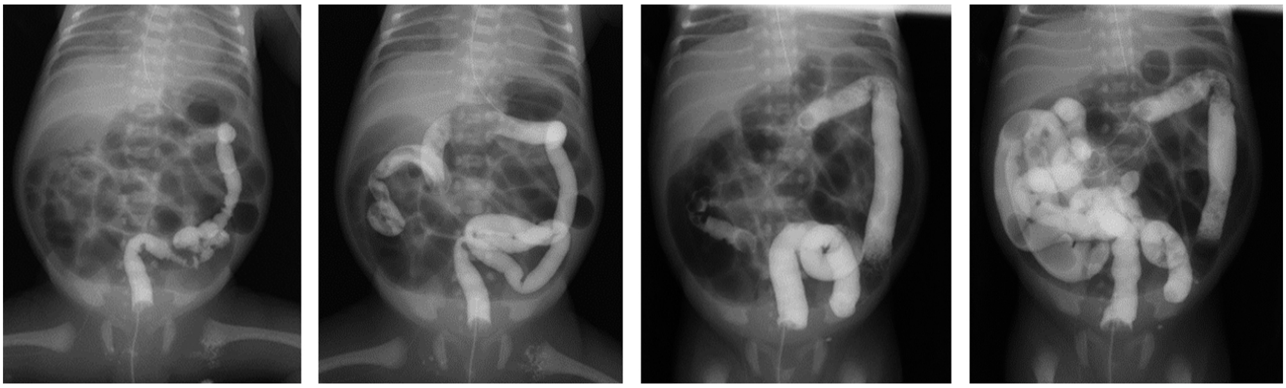

Fig. 5　ガストログラフィン®注腸時の実際の画像

途中でガストログラフィン®の先進部位，腸管の張り具合，直線化の程度などを確認しながらゆっくりと注入していき，回腸末端に十分届いたことを確認して終了．初回には回腸末端まで届かないことも多く，腸管内圧をモニターしながら，腸閉塞が解除されるまで連日繰り返し施行する．

でガストログラフィン®を届かせることができるようになった．

ただし，結腸内の胎便が十分に排出されていないと，この方法で初回から回腸末端に届くわけではない．初回は 40 cmH_2O くらいの圧に止めて，主に結腸内を空虚にすることを目的としている．2 回目以降も 40 cmH_2O までの圧で回腸まで届くことも多い．40 cmH_2O の圧で回腸末端に届かない症例に対して 50 cmH_2O まで上げている．また，注入中に 50 cmH_2O まで圧が上がっても，圧を緩めることな

くそのまま待っていると徐々に腸管内圧が下がり，少しずつガストログラフィン®を足していける．おそらく，先進部ではゆっくりと胎便の隙間を進んでいくのであろうと想像している．最終的に腸閉塞が解除されるには，18～20 ml/kg のガストログラフィン®を要することが多い（圧モニター用の延長チューブ 2 ml 分を除いて）．

V　FUJIFILM DR CALNEO mini

1980 年以前には，レントゲン写真の撮影時には銀塩フィルムが使用されてきた．しかし，1980 年の銀相場高騰（シルバーショック）を契機に，写真感光材料メーカー各社は脱銀化にむけた研究，開発を加速しデジタル化が進んだ．

一般に，デジタル X 線撮影装置で X 線を検出（受像）する方式には，CR（コンピューテッドラジオグラフィー）と DR（デジタルラジオグラフィー）と呼んでいるものの 2 種類がある．

1990 年代までは，コンピュータの処理能力が限られており，撮像によって得られた大量のデータを一括処理する機構はまだ不十分であったため，光輝尽性蛍光板（イメージングプレート）に X 線を受光し，これにレーザー光を当ててデータを撮像後に読み取る方法（CR）が開発され，1990 年代以降，現在の主流となっている．

一方，DR とは光電変換デバイスで X 線を受光し，光電変換で電子データ化して読み出す方式で，この光電変換デバイスによる受光部分（X 線平面検出器）をフラットパネルディテクタ（FPD）またはフラットパネルセンサと呼んでいる．コンピュータの処理能力が向上し，画像の一括処理が可能になったことから 2000 年代以降普及しつつある．

FUJIFILM DR CALNEO はフラットパネルディテクタの一つであり，低線量で高画質の画像が得られる．また，FUJIFILM が世界で初めて実用化した自動 X 線検出機能を搭載したカセッテ式の DR であり，自動で X 線を検出するため，X 線発生装置との接続が不要である．小さいカセッテサイズの mini（ほぼ A4 サイズ）はクベースにも挿入可能である．

われわれは，DR の場合，1 枚のカセッテで連続して約 240 枚の画像を撮像できるという点，その場での高速度画像処理能力（約 1 秒で画像の確認可能）に注目し，透視室への移動が困難な超・極低出生体重児のガストログラフィン®注腸に応用してみた．その結果，ガストログラフィン®の先進部位，腸管の拡張や直線化の程度（圧のかかり具合）をリアルタイムに確認しながら，まるで透視下に施行している感覚で，より安全・確実に注腸を行うことができるようになり，MRI の保存的治療の奏効率の上昇につながっている．

VI　おわりに

未だ確立された手技のない MRI 解除のためのガストログラフィン®注腸の際に，われわれが行っている二つの工夫について紹介した．他施設での参考になれば幸いである．

文　献

1) 窪田 昭男，井村 賢治，小林 敬，他：周産期センターにおける胎便関連腸閉塞症例の検討．新生児誌 1995; 31: 120–127.
2) Hatanaka A, Nakahara S, Takeyama E, et al.: Management of extremely low birth weight neonates with bowel obstruction within 2 weeks after birth. Surg Today 2014; 44: 2269–2274.
3) 深見 絵里子，中原 さおり，石田 和夫：極－超低出生体重児における胎便関連性腸閉塞症の手術時期．窪田 昭男（編）．低出生体重児の外科．大阪：永井書店，2013: 198–201.

日本小児放射線学会雑誌
J Jpn Soc Pediatr Radiol 2017; 33(1): 19–27

私が小児放射線学会で学んだことと伝えたいこと

窪田 昭男

和歌山県立医科大学第二外科 学長特命教授

What I learned from Pediatric Surgery and What I want to pass on to young pediatric surgeons

Akio Kubota

Second Department of Surgery, Wakayama Medical University

Abstract

For two years before I started my career as a pediatric surgeon, I majored in Nuclear Medicine and Radiology. Until I looked back on half my life when I chaired the 50th Anniversary of Japan Society of Pediatric Radiology in 2014, I thought the two years was a detour to pediatric surgery. However, while I looked back on half my life, I noticed that the two years as a radiologist was not just a waste of time, but gave me a radiological point of view to see new disorders.

Lots of neonates with suspected Hirschsprung's disease (HD) were referred to me, but in most of them, HD was ruled out after a manometric study. I wondered what they were, and reviewed their plain abdominal X-rays. Then I realized that they could be categorized into three patterns, which I call “Benign transient non-organic ileus of neonates (BTNIN)”. I encountered a few cases that on X-rays can not be categorized into these patterns, and eventually they were diagnosed as cow milk allergy. After a prospective study, we recognized that the pathogenesis of most cases of “BTNIN” was cow milk allergy.

As the survival of extremely-low-birth-weight neonates has been increasing, the incidence of meconium disease (MD) or meconium plug syndrome (MPS) has been increasing. The small intestinal obstruction had been attributed to sticky meconium or meconium plug per se. However, after closer observation of contrast enema with Gastrografin, I knew the meconium was not the cause of the mechanical obstruction, but the consequence of functional obstruction, or excessive water absorption from meconium in the stagnated small intestine leading to formation of sticky meconium and secondary mechanical obstruction. In 1995, I proposed a new concept “meconium-related ileus”. Nowadays, the concept “MRI” is widely accepted in the field of neonatal medicine.

Acknowledgement: I am deeply grateful to Prof. Hitoshi Yoda, the organizing chairman of the 52nd Ann Meeting of Japan Society of Pediatric Radiology, for his kindly invitation to deliver a special lecture at the meeting. It was my great pleasure and honor.

Keywords: Cow milk protein allergy, Meconium-related ileus, Meconium Disease, Hirschsprung's disease

I 小児外科医のまわり道

私と放射線との出会いは，医学部山岳部のある先輩に「将来性のある核医学」を強く勧められ，海外留学の餌に釣られてわが国最初の核医学診療科（後に核医学講座）に入局した時です．昭和50年当時の核医学診療科はシンチグラム診断以外にRIを用いた甲状腺機能亢進症の治療と甲状腺ホルモンの測定，RIを用いた内部照射（^{32}P，^{198}Auコロイド）などRIの臨床応用の開発と共にがん細胞に集積する

核種を見つけることなどの基礎研究もしていました．臨床医になるつもりでいた私は基礎研究には全く興味が持てなかったので，RI を用いた治療に活路を見出そうとしていました．甲状腺機能亢進症の治療は既に広く行われていたので，^{32}P による前立腺がんの骨転移や Au コロイドを用いたがん性胸膜炎の治療を行っておりました[1]．しかし，乳がんによる胸膜炎に対して ^{198}Au コロイド治療をした若い患者さんを治療の副作用で亡くしたことが契機となってがんの治療は全身管理ができる内科医がすべきで，核医学診療科医がすべきではないと思い始めておりました．そんな折，初めて参加した日本核医学会のシンポジウムのテーマが「核医学に未来はあるか？」でした．座長が「SPECT が実用化されれば未来はある」とまとめましたが，こんな課題がシンポジウムで取り上げられたこと自体が，「将来性のある核医学」に誘われて入った者にはショックでした．悶々として日々を過ごしていた 2 年目の正月に，私が核医学に入ったことを後悔していると聞き及んだ件の先輩がくれた年賀状が私の人生を変えました．「まだ，小児外科をしたいと思っているなら，好い先生を紹介しますよ」の一言に，今からでも専門を変えても好いのだと知って，2 年で核医学を辞め，学生時代から憧れていた小児外科に転向しました．核医学の 2 年間が小児外科医になるためには「大きなまわり道」だったとずっと思っておりましたが[2]，極最近になって，放射線科の先生方がされていた Felson（“Felson’s Principles of Chest Roentgenology”）の輪読会に参加し放射線診断の触りを学んだことは，胎便関連性腸閉塞症（下記）の概念を提唱したことや，ヒルシュスプルング病疑い症例の大多数がミルクアレルギーであることを突き止めたことに役に立っていたのかもしれないと思うようになりました．第 50 回日本小児放射線学会を主催させていただいたあと，本誌に学会報告を書く段になって改めてあの 2 年間のまわり道が役に立っていたのではないかと思えてきました．尤も，まわり道をしていなければ小児外科医としてもっと大成していたでしょうが（笑）．

II　小児放射線との出会い

小児外科医になってからの小児放射線学会との出会いは，食道閉鎖症術後の致命的合併症である気管軟化症の診断に気管シネグラム（食道透視）を行った時です．側面から気管シネグラムを撮り，呼気と吸気の気管前後径の変動率を定量化する極めて単純な検査法でしたが，大動脈胸骨固定術の適応基準を決めるのに有効でした．これを小児放射線学会で発表したのが小児放射線学会との付き合いの始まりでした．

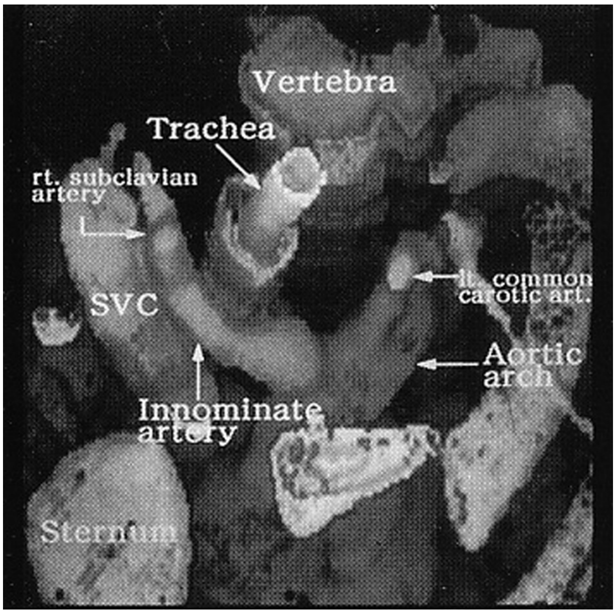

Fig. 1　胸部のヘリカル CT 三次元構築像
食道閉鎖症術の気管軟化症症例．気管が椎体と無名動脈に挟まれて外因性狭窄（軟化症）をきたしていることが分かる．通常の大動脈胸骨固定術では狭窄は解除されないことが分かります．

食道閉鎖症における気管軟化症の本態は周辺臓器，主に拡張した食道と大動脈弓・無名動脈からの圧迫による外因性の狭窄であることから，外科的に治療するためには周辺臓器との解剖学的関係を知る必要がありました．そこで，1995 年頃はまだ普及していなかったヘリカル CT の 3D 構築で気管と隣接臓器との位置関係を明瞭に描出しました[3,4]（Fig. 1）．アジア小児外科学会で発表し，絶賛されました．その後，手術法や縫合糸の進歩により食道閉鎖症術後の縫合部狭窄・口側の拡張が減り，致命的な気管軟化症の頻度も重症度も減ったことと，3D-CT が急速に普及したために学会や論文発表のネタではなくなりました．

小児外科医をしながら小児放射線学会で幾つかの報告をさせて戴きました．輪状咽頭筋アカラシアの 1 例を発表しましたが，小児放射線科の大御所に「それは咽頭筋の dyscoordination でしょ．珍しくない

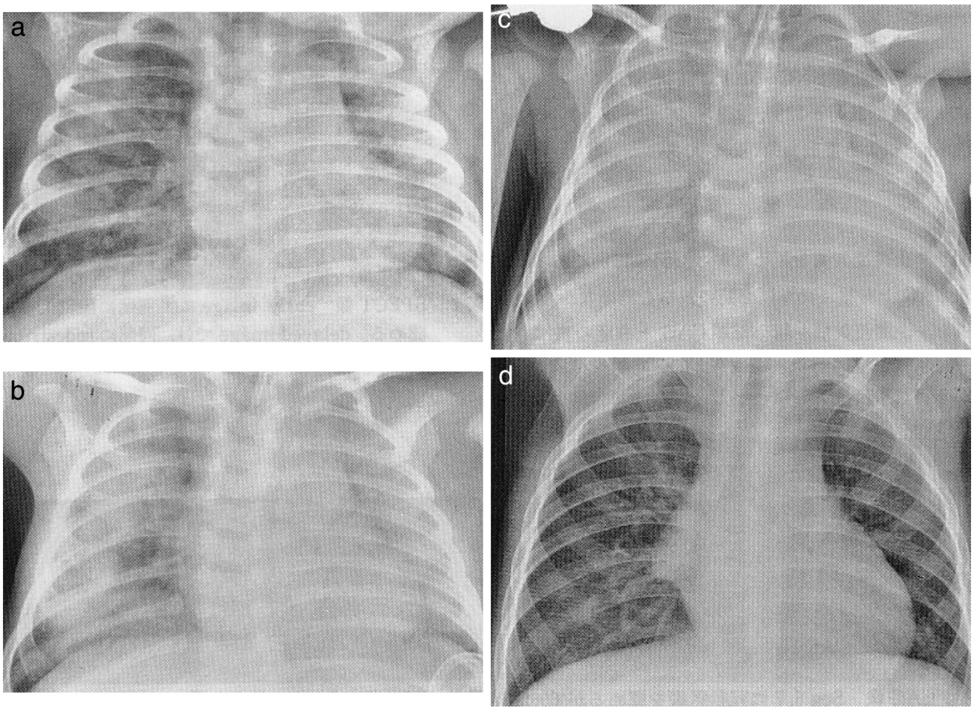

Fig. 2　ブレオマイシン局所投与後のアレルギー性肺炎

a：生後 63 日目，BLM 局注の翌日，呼吸障害発現．b：BLM 局注 2 日目．高度の呼吸障害を呈し，人工換気が開始された．胸部 X 線写真で典型的な“reversed bat wing sign”を呈し，アレルギー性肺炎と診断された．c：5 日目，呼吸器の酸素濃度を 100%にしたが，経皮酸素濃度が 70 台となったので，ECMO を開始した．5 日目に ECMO が離脱できた．d：全く後遺症なく，軽快退院した．生後 11 か月の胸部 X 線写真で異常所見は認められない．

ですよ」といわれ，「はい」と答えたことがありました．後からよく調べると，手術適応にもなる重要な疾患でした[5]．自分の勉強不足もありましたが，若い医師の発表を全面的に否定する「こういう大人にはなりたくない」と思いました（笑）．

「著明な腎内逆流を呈した膀胱尿管逆流症の一例」は，大阪府立母子医療センターの放射線科に常勤医がいなかった頃，近畿大学から読影に来ていた窪田由紀が共同著者になった唯一の論文です[6]．

嚢胞性リンパ管腫に対する硬化療法にピシバニールが一般的になる前にブレオマイシンを局所投与しましたが（投与の仕方に問題があったと思います），4 回目の投与後，呼吸状態が急激に悪化しました．今は亡き放射線科の森本静夫先生が胸部 XP で「（ブレオマイシン投与による）アレルギー性肺炎」と診断されました．アレルギー肺炎なら急性期を乗り切れば救命できると考え，ECMO を行い，救命しました．森本先生の診断根拠は“reversed bat wing sign”だったので（Fig. 2），その後この sign 名を探しましたが，未だ見つけることは出来ないでおります．「放射線科医ってすごいなぁ！」とつくづく感心させられた症例です[7]．

III　胎便関連性腸閉塞症（meconium-related Ileus: MRI）を提唱する

府立母子医療センターでは沢山の極・超低出生体重児の機能的腸閉塞症を診させていただきました．多くは所謂胎便栓症候群（MPS）で，ガストログラフィンの浣腸で胎便栓が排泄されて症状は軽快しましたが，胎便が回腸に存在する場合は保存的治療に抵抗性を示し，不幸な転機を辿ることもありました．所謂“meconium disease（MD）”あるいは“meconium ileus without mucoviscidosis”と呼ばれるものでした．沢山の症例を診ていて二つのことに気づきました．一つは，MPS と MD は胎便の存在部位，形状，保存的治療に対する反応も予後の何れをとっても鑑別できない連続した広いスペクトルを呈する病態であることです．もう一つは，注腸造影で caliber change は緩徐で且つ胎便塞栓の存在部位と関係し

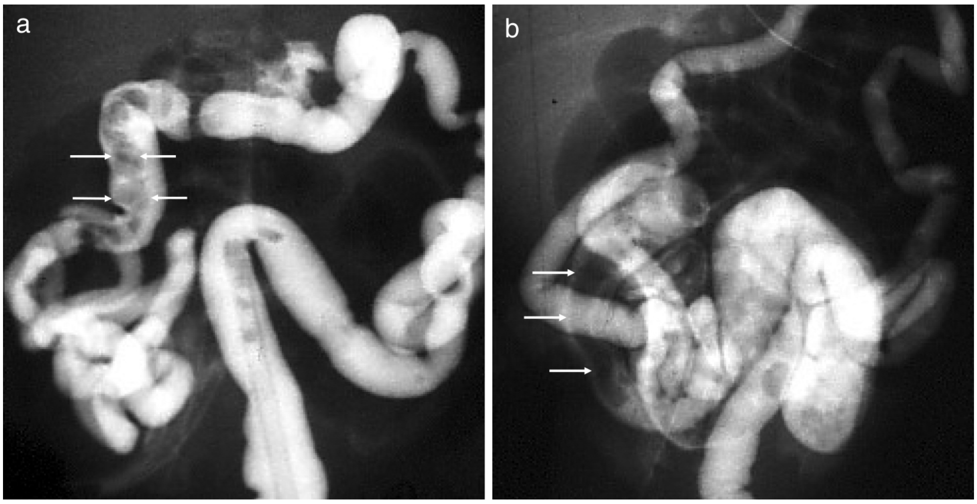

Fig. 3　胎便関連性腸閉塞症（MRI）の注腸造影像
a：microcolon を認める．上行結腸内に胎便栓を認めるが，caliber change と離れており，器質的な閉塞の原因になっているようには見えない．b：microcolon を認める．回腸に caliber change を認めるが，胎便栓の存在とは無関係である．胎便栓が器質的閉塞の原因になっているとは考えられない．

ないことがしばしばあることでした[8]（Fig. 3a, b）．胎便そのものが器質的腸閉塞の原因ではなく，蠕動の未熟な腸管内に停滞している胎便の水分が過剰に吸収されて結果として粘稠な胎便が形成されたものだと考えました．実は，後日論文を書く段になって，小児放射線科医はこのことに気付いていて成書にも書かれていることを知りました[9]．私はこの病態を「胎便関連性腸閉塞症」と名付けて，1995 年に『新生児学会誌』[10]，1997 年に『小児外科』[11]に発表しました．注腸造影所見は 1988 年に既に『臨床小児放射線研究会雑誌』に，その後，長期的予後を『小児外科』[12]に，壁内神経節の病理組織所見を『小児外科』[13]に，ヒルシュスプルング病類縁疾患との関連を Eur J Pediatr Surg[14]に報告しました．2011 年に始めて Meconium-related Ileus（MRI）として英文誌に載りました[15]．実は，この概念を「メコニウム関連性イレウス」として最初に発表したのは小児放射線学会だったのです[8]．MRI と言う概念を持つのに放射線学的所見が決定的に重要な働きをしていたのです．今日，この概念は国内では新生児科医・小児外科医の間で広く受け入れられつつあります[16,17]．

IV　限局性腸穿孔（focal intestinal perforation; FIP）の病因論

筆者らは壊死性腸炎との臨床的比較で限局性腸穿孔（focal intestinal perforation; FIP）が NEC と違う病態であることを明らかにしました[18]．穿孔部の病理組織にこの病気の病因が隠されていると考え，FIP 症例はすべて穿孔部に腸瘻を造設して，その部分の組織学的検討を行いました．その結果，穿孔部の筋層が先天的に欠損していることに気づきました．そこで本症は，未熟腸管の不規則な蠕動に伴う内圧の不規則な上昇と先天性筋層欠損が相俟って起こると考えました[19]．本症の過半数の腹部単純 X 線写真で，穿孔前に gas-less abdomen を呈していることに気付きましたが，穿孔の直前には嚥下したガスが腸管に達していることも分かりました．これらの所見は前述の仮説を放射線学的に立証するものと考えています（Fig. 4a–c, 5a–c）．

V　ヒルシュスプルング病酷似の症状を呈するミルクアレルギー

私は 1992 年に足掛け 7 年働いた府立母子医療センターから近畿大学に異動し，小児外科を立ち上げました．小児外科を目指す若い医者が先ず習得しなければならない検査に，消化管造影と並んで直腸肛門内圧検査と直腸粘膜生検があります．開設されたばかりの小児外科にはヒルシュスプルング病（H 病）が疑われた患者さんがたくさん紹介されてきました．若い先生に習いたての検査をしてもらいましたが，検査する患者はお腹はキンキンに張っているのに，直腸肛門反射は陽性を示すものばかりでした．

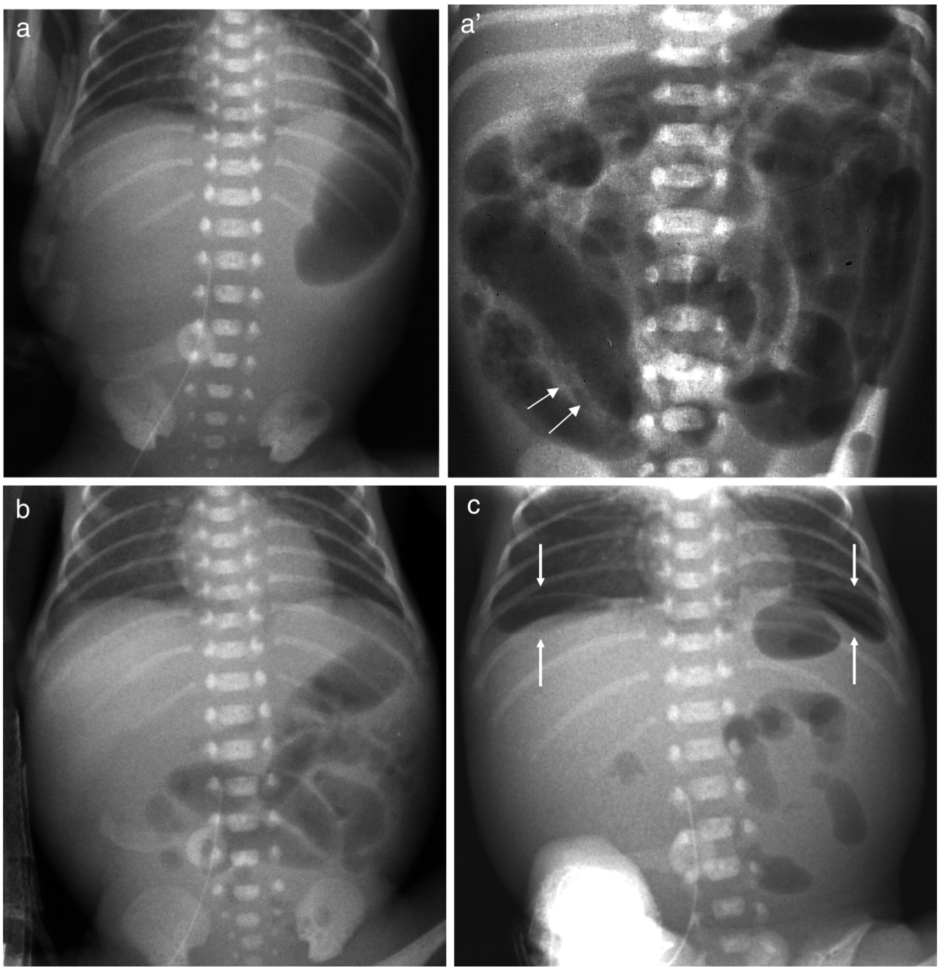

Fig. 4　限局性腸穿孔（FIP）の腹部単純 X 線写真

a：第 5 生日女児．Air-less abdomen を示す．a'：H 病の腹部単純 X 線写真（対照例），腸管全体の拡張と hair-pin sign，fixed loop sign，pneumatosis intestinalis など典型的な所見を呈す．b：同一症例の第 8 生日の腹部単純 X 線写真，腸管に嚥下したガスが達しているが，腸管の拡張は認めない．c：同日，突然，気腹像（↓）を認めた．緊急開腹術により限局性腸管穿孔を確認した．

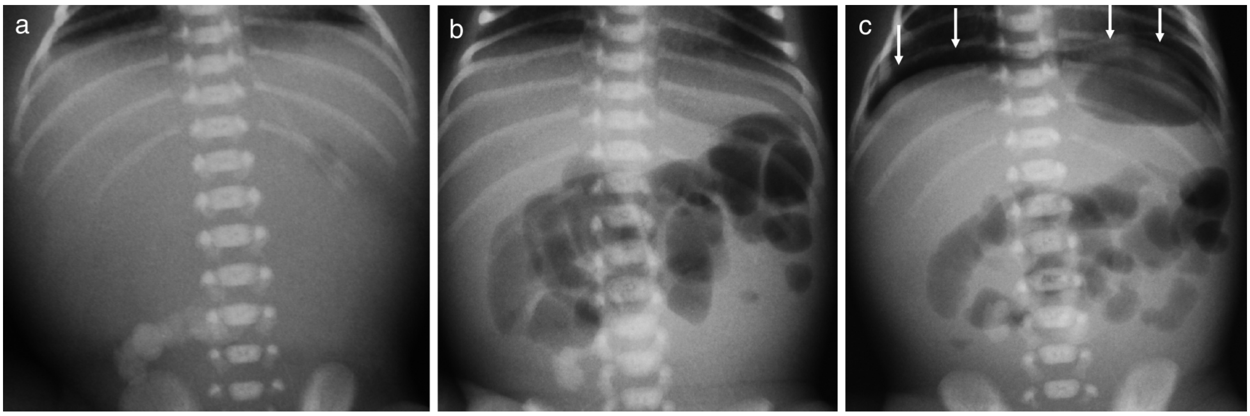

Fig. 5　限局性腸穿孔（FIP）の腹部単純 X 線写真

a：第 2 生日，air-less abdomen を呈する．b：第 12 生日，腹部膨満を呈した．腹部単純 X 線写真で腸管のガス像を認めたが，拡張は軽度である．c：第 13 生日，気腹像を認める．空気の入っていない未熟な腸管に嚥下した空気が入ることによる刺激で，不規則な腸蠕動をおこし，腸管内圧が上昇することによって腸穿孔が起こるという仮説を裏付ける所見と思われる．

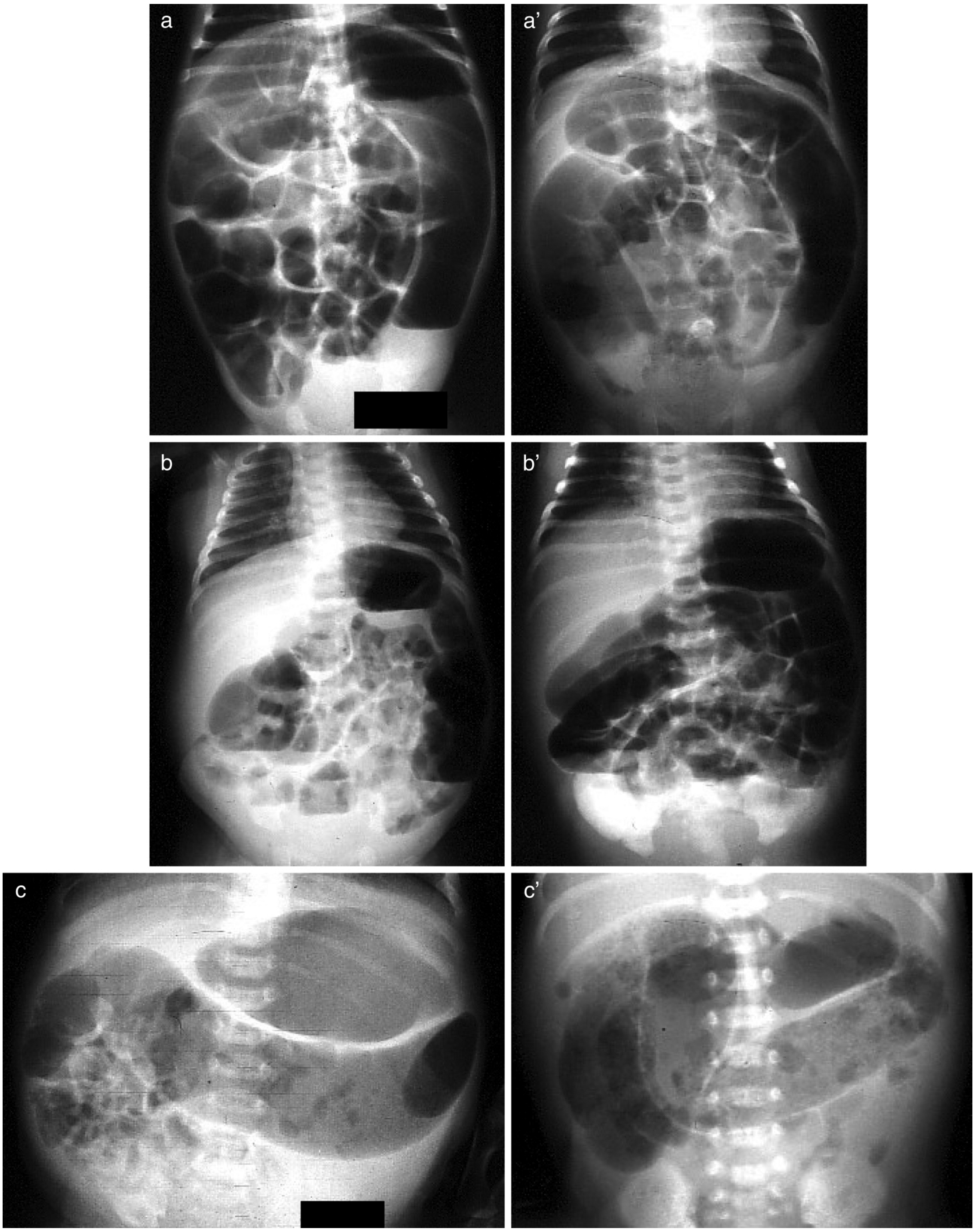

Fig. 6　ヒルシュスプルング病類似症状を呈した良性一過性非器質性腸閉塞症（BTNIN）の腹部単純 X 線写真
a：全腸管型の BTNIN とされた症例（第 23 生日男児）　a'：H 病（第 18 生日女児）と鑑別できない．b：結腸型の BTNIN と診断された症例（第 31 生日女児），b'：H 病（第 18 生日男児）と鑑別できない．c：分節型の BTNIN と診断された症例（第 40 生日男児），c'：H 病（第 5 生日男児）と鑑別できない．

H 病を確定診断された症例が多かった府立母子医療センターでは気にならなかったのですが，喉から手が出るほど患者が欲しかった近大だったので，「H 病疑いで検査されて H 病が否定されるこの病態はいったい何だろう」と言う疑問を持ちました．そこで，H 病様症状を呈し，検査で H 病が否定された症例をまとめて，症状をそのままに「良性一過性非器質性腸閉塞症（benign transient non-organic ileus of neonates: BTNIN）」と名付けて報告しました[20,21]．BTNIN の腹部単純 X 線写真は，結腸全体が著明に

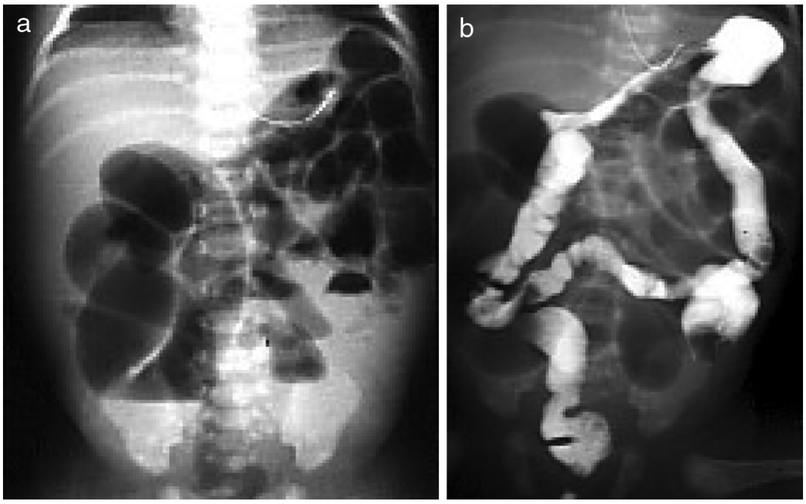

Fig. 7　非定型的 BTNIN を疑われた症例（症例 CMA1）
a：腹部単純 X 線写真は全腸管型にも結腸型にも分節型にも当てはまらない．拡張は小腸にもみられ，鏡面形成を伴う．b：注腸造影では，結腸に拡張も narrow segment もないが，不規則な狭小像をみとめる．BTNIN の否定形例として経過観察された．ミルクアレルギーであった可能性が高い．

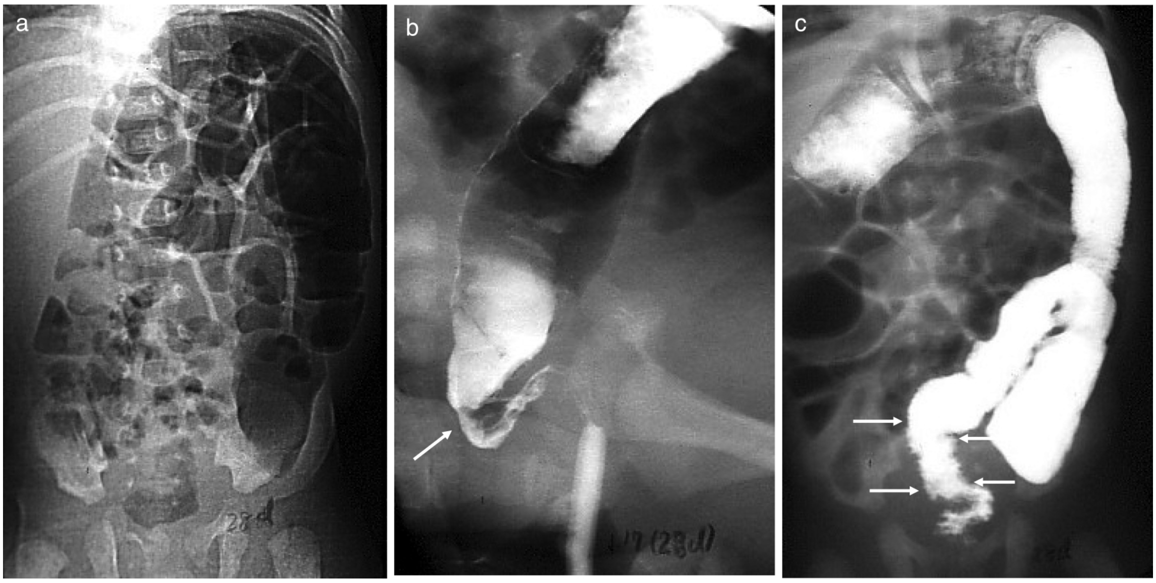

Fig. 8　非定型的 BTNIN を疑われた後ミルクアレルギーと診断された症例（症例 CMA2）
a：腹部単純 X 線写真では BTNIN を疑われた症例（第 28 生日男児），b：注腸造影の側面像で caliber change を認める．c：注腸造影の正面像で直腸の壁不整を認める．直腸肛門反射陽性で，牛乳に対する DLST でミルクアレルギーと診断された．

拡張し，小腸も均一に拡張している全腸管型，主に結腸が拡張し鏡面形成を呈するが，小腸の拡張は軽度の結腸型および結腸が分節的に拡張している分節型（Fig. 6a–c）に大別できましたが，何れの型も H 病との鑑別は困難でした[22]．しかし，これらの何れにも当てはまらない症例も経験しました．Fig. 7a, b は従来の BTNIN と全く異なる所見を呈しましたが，思い当たる疾患もないので，非定型的 BTNIN として経過観察した症例です．Fig. 8a–c は，腹部単純 X 線写真では，BTNIN が疑われましたが，注腸造影で caliber change と直腸末端に壁不整を認めたため，BTNIN は否定的でした．H 病を考えて内圧検査を行いましたが，H 病も否定されました．浣腸だけで症状は軽快しなかったので消化器内分泌科医に相談したところ，ミルクアレルギー（CMA）が疑われたので，牛乳に対する DLST を行い CMA と診

断されました．これまで BTNIN と仮に呼んでいた症例は CMA かもしれないと考え，H 病疑いで紹介された症例の内 BTNIN の診断基準にあう症例を対象として前向き研究を行いました．その結果，26 例中 9 例が H 病で，残りの 17 例全例が CMA と診断されました．これにより，新生児期に H 病様症状を呈する膨大な患者の多くは CMA であることが明らかとなりました[23,24]．

VI　第 50 回日本小児放射線学会[25]

2014 年に日本小児放射線学会を主催させて戴きましたが，奇しくも第 50 回だったので，50 周年記念学術集会としました．テーマを「温故知新」とし（Fig. 9），テーマを念頭に置いたプログラムを組みました．特別講演は 2 題で，1 題は当学会の元理事長，平松慶博先生（元東邦大学大橋病院放射線科教授）に「日本の小児放射線医学 50 年の歴史」をお話しいただきました．また，アイオワ大学放射線科教授の Yutaka Sato 先生に“Acute Abdomen: When to Open the Pandora’s Box”と題して，急性腹症の画像診断をパンドラの箱にたとえてお話しいただきました．シンポジウムは，画像診断を通して最近の発展が目覚ましい小児科・小児外科領域の 6 つのテーマを取り上げました．（1）急性腹症の超音波診断―超音波は CT を超えられるか？（2）新生児・乳児の Neuroradiology―最近の進歩，（3）小児核医学検査―こんな時にこんな検査を，（4）先天性嚢胞性肺疾患の新しい概念と画像診断，（5）先天性疾患の胎児画像診断―今とこれから，（6）血管腫・血管奇形に対する IVR 最先端でした．従来の Film Reading Session は“Pediatric Radiology in Action 2014”と題して，日米の放射線科医と小児外科医による読影室での画像カンファレンスを再現していただきました．ランチョンセミナーも，小児放射線科領域で緊要な課題を 2 つ取り上げました．（1）MR 検査時の鎮静に関する共同提言から：現場へのメッセージと（2）小児 CT 被ばく―日本の現状と最適化の方法でした．小児放射線学会の発表は画像供覧が中心なので，画像をじっくり観てもらうことができる示説が理想的であると考え，一般演題は全て示説としました．これは，若い研修医でも on the spot で熱い討論ができることと口演では発表時間の制限があるので，ポスターを会期中貼りだしておいて，いつでも観てもらえるという利点もありました．54 題の応募があり，うち 3 題は国外（韓国）からでした．充実した面白い学術集会だったと自負しております．

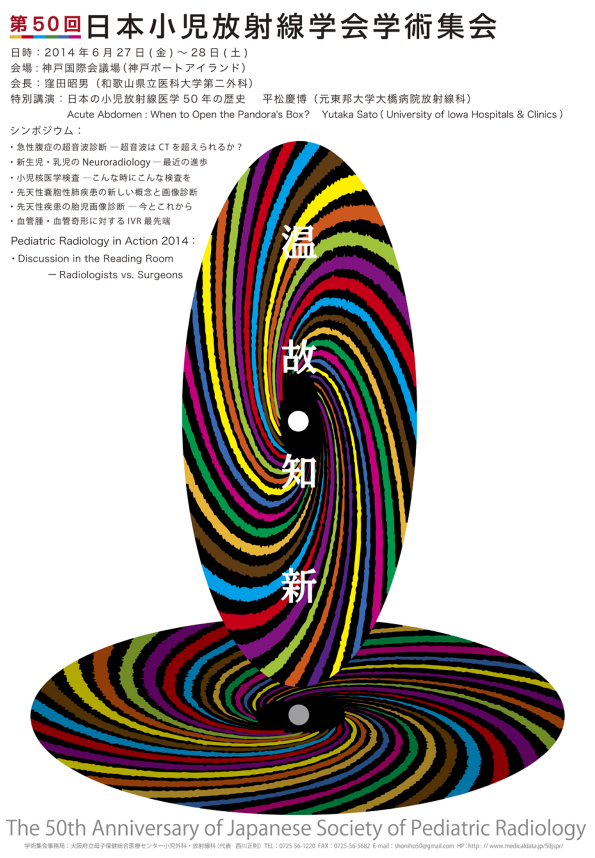

Fig. 9　第 50 回日本小児放射線学会のポスター

小児放射線学会を主催させていただいて，改めて小児外科の進歩は小児放射線の進歩と切っても切れない関係にあることを認識しました．個人的には，小児放射線学会に所属して小児放射線学的眼を持ち続けたことが新しい病気の発見や病因解明に役に立ったと思っています．「学んだことと伝えたいこと」は当にこのことです．

謝　辞

第 50 回日本小児放射線学会を主催させていただいた機会に卒業後 40 年を振り返って，核医学（放射線）の 2 年間は単に「小児外科医のまわり道」ではないと漠然と思いかけていたので，確り振り返って「私と小児放射線」のような会長講演をしたいと思っておりました．しかし，50 周年記念のために企画プログラムが多く，会長講演は諦めました．ところが，第 52 回の学術集会で思いもよらない特別講演の依頼を受け，一旦諦めた「私と小児放射線」を

話す機会が蘇りました．感激の極みであります．与田仁志会長に心から感謝申し上げます．

文　献

1) 窪田 昭男，伊藤 和夫，杉原 政美，他：テストステロン併用[32]P 療法による転移性骨腫瘍の除痛効果．臨床放射線 1978; 23(1): 87–94.
2) 窪田 昭男：小児外科医のまわり道．鳥映社，2010.
3) 窪田 昭男，米倉 竹夫，野瀬 恵介，他：気管気管支軟化症におけるヘリカル CT 像―外因性圧迫の診断に有用であった 2 症例―．日小放誌 1996; 12: 68–73.
4) 窪田 昭男，米倉 竹夫，保木 正徳，他：小児の胸部疾患における三次元表示によるらせん CT の有用性．日小放誌 1999; 15: 53–59.
5) 窪田 昭男，川原 央好，檜垣 淳，他：輪状咽頭筋アカラジアの一例．臨床小児放射線研究会雑誌 1987; 3: 56–57.
6) 窪田 昭男，藤井 真，檜垣 淳，他：著名な腎内逆流を呈した膀胱尿管逆流症の一例．臨床小児放射線研究会雑誌 1987; 3: 74–75.
7) 窪田 昭男，井上 正宏，秦 信輔，他：頸部嚢胞性リンパ管腫に対するブレオマイシン局所投与により惹起されたアレルギー性肺炎の 1 例．日小放誌 1992; 8: 22–23.
8) 窪田 昭男，川原 央好，石川 士郎，他：メコニウム関連性イレウスの検討―注腸造影所見を中心に―．臨床小児放射線研究会雑誌 1988; 4: 78–79.
9) Leonidas JC, Berdon W: Meconium plug syndrome and neonatal small left colon syndrome. In: Silverman FN, Kuhn JP, eds. Caffey's Pediatric X-Ray Diagnosis: An Integrated Imaging Approach (9th ed). St. Louis: Mosby, 1993: 2080–2082.
10) 窪田 昭男，井村 賢治，小林 敬，他：周産期センターにおける胎便関連性腸閉塞症例の検討．日新生児誌 1995; 31: 120–127.
11) 窪田 昭男，米倉 竹夫，保木 昌徳，他：極小未熟児・超未熟児に発症した機能性腸閉塞症の治療と予後―胎便関連性腸閉塞症例の検討―．小児外科 1997; 29: 865–872.
12) 窪田 昭男，山内 勝治，小角 卓也，他：胎便関連性腸閉塞症例の長期予後．小児外科 2000; 32: 1193–1198.
13) 窪田 昭男，川原 央好，奥山 宏臣，他：Meconium-related Ileus の組織と病態．小児外科 2006; 38: 978–983.
14) Kubota A, Imura K, Yagi M, et al.: Functional ileus in neonates: Hirschsprung's disease-allied disorders versus meconium-related ileus. Eur J Pediatr Surg 1999; 8: 392–395.
15) Kubota A, Shiraishi J, Kawahara H, et al.: Meconium-related ileus in extremely low0birthweight neonates: etiological considerations from histology and radiology. Pediatr Int 2011; 53: 887–891.
16) 窪田 昭男，白石 淳：新生児壊死性腸炎，胎便関連性腸閉塞症，限局性腸穿孔の病態と治療．板橋家頭夫（編）．新生児栄養学．東京：メジカルビュー社，2014: 181–189.
17) 窪田 昭男：胎便関連性腸閉塞症（Meconium-related ileus）．福澤正洋，中村哲郎，窪田昭男（編）．系統小児外科学．大阪：永井書店，2013: 522–528.
18) Okuyama H, Kubota A, Oue T, et al.: A comparison of the clinical presentation and outcome of focal intestinal perforation and necrotizing enterocolitis in very-low-birth-weight neonates. Pediatr Surg Int 2002; 18: 704–706.
19) Kubota A, Kawahara H, Okuyama H, et al.: Focal intestinal perforation in extremely low-birth-weight neonates: etiological consideration. Pediatr Surg Int 2007; 23: 997–1000.
20) 窪田 昭男，米倉 竹夫，保木 昌徳，他：良性一過性新生児非器質性腸閉塞症―仮性ヒルシュスプルング病―．小児外科 1996; 28: 1090–1096.
21) Yamaushi K, Kubota A, Usui N, et al.: Benign transient non-organic ileus of neonates. Eur J Pediatr Surg 2002; 12: 186–174.
22) 窪田 昭男，米倉 竹夫，保木 昌徳，他：新生児ヒルシュスプルング病の画像診断―腹部単純 X 線および注腸造影の pitfalls―．日新生児誌 1998; 34: 108–116.
23) Kawai M, Kubota A, Ida S, et al.: Cow's milk allergy presenting Hirshsprung's disease-mimicking symptoms. Pediatr Surg Int 2005; 21: 850–852.
24) Kubota A, Kawahara H, Okuyama H, et al.: Cow's milk protein allergy presenting with Hirschsprung's disease-mimicking symptoms. J Pediatr Surg 2006; 41: 2056–2058.
25) 窪田 昭男：第 50 回日本小児放射線学会学術集会を終えて．日小放誌 2015; 31: 4–7.

日本小児放射線学会雑誌
J Jpn Soc Pediatr Radiol 2017; 33(1): 28–35

特集 第52回日本小児放射線学会学術集会“画像を診る” 教育講演より

周産期領域における画像診断の進歩

馬場 一憲

埼玉医科大学総合医療センター 総合周産期母子医療センター

Progress of diagnostic imaging in perinatology

Kazunori Baba

Center for Maternal, Fetal and Neonatal Medicine, Saitama Medical Center, Saitama Medical University

Keywords: Diagnostic ultrasound, Fetal abnormality, Doppler ultrasound, Three-dimensional ultrasound, Fetal therapy

超音波診断装置の出現前は，胎児に異常があるか否かを知ることができず，生まれる前の胎児は全く医療の対象にならなかった．1970年代後半に胎児を対象とした超音波診断装置が臨床現場でも使えるようになったことにより，胎児も医療の対象として扱われるようになって産科の教科書は大きく書き換えられた．今や，胎児は診断されるだけでなく，子宮内での治療の対象にもなっている．

ここでは，出生前診断を中心に周産期領域における画像診断の進歩について概説する．

I　経腹法と経腟法

母体腹部にプローブを当てて走査する経腹法は簡便な方法ではあるが，超音波が腹壁を通らなければならないため，特に妊娠初期では胎児の詳細な画像が得られないという欠点がある．

超音波プローブの小型化により，経腟法という走査法（Fig. 1）が可能になった．これは細い超音波プローブを腟内に挿入して走査する方法で，腹壁の影響を受けずに，また近距離から観察することで高い周波数の超音波を用いることができ，妊娠初期の胎児の詳細な画像が得られる．

経腟法では，妊娠5週中ごろから胎児心拍動を確認することができる．また，妊娠12週前に無頭蓋症のような重篤な胎児異常を診断することも可能で，超音波専門医によって重篤な心奇形が診断される場合もある．

II　胎児形態異常スクリーニング

超音波診断装置を用いて胎児の形態異常を出生前に診断できれば，適切に準備・対応することによって，児の命を落とさずにすんだり，後遺症の発症を回避したり軽減したりすることができる．しかし，胎児の形態異常はすべての胎児のすべての部位に起こる可能性があるが，出生前にすべての胎児に対しすべての形態異常の有無をチェックすることは現実

Fig. 1　経腟法

Table 1 胎児の形態異常[1]

1. 医学的に出生前診断の必要性が低い異常
出生後の治療が不必要な軽微な異常や出生後の診断で十分な異常（知らずに分娩に至っても大きな問題がない異常）など，出生前診断の有無が予後に大きな差を生じないような異常

2. 出生前診断で予後の改善が期待できる異常
出生前診断されることによって，適切な分娩施設や分娩方法の選択，適切な新生児治療の準備（疾患によっては胎児治療）の速やかな開始などが可能になり，救命率の向上や後遺症の回避・減少が期待できる異常

3. 治療法がなく致死的な異常
現在の医学では治療することができず，致死的な異常

Table 2 妊娠 18 週～20 週における胎児形態異常スクリーニングのためのチェック項目[6,7]

	レベル 1	レベル 2	レベル 2＋α
全身	1. 浮腫は無いか.		
頭部	2. BPD（児頭大横径）は妊娠週数相当か.	1. BPD（児頭大横径）は妊娠週数相当か.	1. BPD（児頭大横径）は妊娠週数相当か.
	3. 頭蓋内は左右対称で異常像を認めないか.	2. 頭部横断面で内部は左右対称で異常像を認めないか.	2. 頭部横断面で内部は左右対称で異常像を認めないか.
	4. 頭蓋外に突出する異常像を認めないか.	3. 頭蓋外に突出する異常像を認めないか.	3. 頭蓋外に突出する異常像を認めないか.
上唇		4. 口唇裂はないか.	4. 口唇裂はないか.
胸部	5. 心臓の位置はほぼ正中で軸は左に寄っているか.	5. 心臓の位置と軸は左に寄っているか.	5. 心臓の位置と軸は左に寄っているか.
	6. 左右心房心室の 4 つの腔が確認できるか.	6. 左右心房心室の大きさのバランスは良いか.	6. 左右心房心室の大きさのバランスは良いか.
	7. 胸腔内に異常な像を認めないか.	7. 胸腔内に異常な像を認めないか.	7. 胸腔内に異常な像を認めないか.
大血管など		8. 大動脈と肺動脈がラセン状に走行しているか.	8. 大動脈と肺動脈がラセン状に走行しているか.
		9. 大動脈と肺動脈の太さは略同じか.	9. 大動脈と肺動脈の太さは略同じか.
			10. 大動脈を左心室から下行大動脈まで追えるか.
			11. 肺静脈が少なくとも 1 本は左心房に流入しているか.
腹部	8. 胃胞が左側にあるか.	10. 胃胞が左側にあるか.	12. 胃胞が左側にあるか.
	9. 胃胞，膀胱，胆嚢以外に嚢胞像を認めないか.	11. 胃胞，膀胱，胆嚢以外に嚢胞を認めないか.	13. 胃胞，膀胱，胆嚢以外に嚢胞を認めないか.
	10. 腹壁（臍部）から臓器の脱出を認めないか.	12. 腹壁（臍部）から臓器の脱出を認めないか.	14. 腹壁（臍部）から臓器の脱出を認めないか.
脊柱・		13. 椎体と棘突起が欠損無く並んでいるか.	15. 椎体と棘突起が欠損無く並んでいるか.
殿部	11. 異常な隆起を認めないか.	14. 背中，殿部に異常な隆起を認めないか.	16. 背中，殿部に異常な隆起を認めないか.
四肢	12. 十分な長さの四肢が確認できるか.	15. 十分な長さの四肢が確認できるか.	17. 十分な長さの四肢が確認できるか.
羊水	13. 羊水過多や過少は認めないか.	16. 羊水過多も過少も認めないか.	18. 羊水過多も過少も認めないか.

・レベル 1：2014 年度日本産科婦人科学会周産期委員会小委員会が提案した方法
・レベル 2：日本産科婦人科学会発行「産婦人科研修の必修知識」に掲載されている方法
・レベル 2＋α：レベル 2 に総肺静脈還流異常と大動脈離断（縮窄）を対象とする 2 項目を加えた方法

的には不可能である．

胎児の形態異常は様々な視点から分類されるが，予後の視点から Table 1 のように分類することができる[1]．この中で，出生前診断が有意義な 2 と 3 を出生前に見つけ出すことを目的に，出来るだけ多くの胎児を対象にスクリーニングを行い，陽性だった胎児を対象に胎児超音波診断に習熟した医師が精密検査を行うという考え方が一般的である．このスクリーニングの方法に関しては，2005 年に提案された方法[2]を基にしたスクリーニング法が日本産科婦人科学会の専門医を目指す医師のためのテキストの 2011 年版[3]に採用され，以後，2014 年版，2016–2018 年版にも採用され続けている．この方法は，条件が良ければ 5 分以内で実施可能な簡便な方法である．しかし，それ以前に専門医になっている産婦人科医も多く，胎児形態異常スクリーニングを全く行っていない施設もあり，超音波検査による出生前診断の恩恵に与かっていない児も少なくないのが実情である．

そこで，日本産科婦人科学会では，現在，胎児形態異常スクリーニングを実施していない施設でも簡単に始められるように上記の方法を簡略化した方法を検討し，2015 年に妊娠 18 週～20 週の推奨チェック項目[4]，2016 年に妊娠 10 週～13 週，妊娠 28 週～31 週における推奨チェック項目[5]を公表している．

Table 2 [6,7]は，これらの中で胎児形態異常スクリーニングの重要な時期である妊娠 18 週～20 週におけるチェック項目の一覧表である．レベル 1 は日本産科婦人科学会が 2015 年に公表した方法，レベル 2 は産婦人科専門医を目指す医師向けのテキストに 2011 年以降掲載されている方法，レベル 2＋α は，レベル 2 の方法に大動脈離断・縮窄と，総肺静脈還流異常のスクリーニングを含めた方法である．どの方法でもよいというのではなく，レベル 1 に慣れたらレベル 2，さらにレベル 2＋α まで実施することが望ましい．

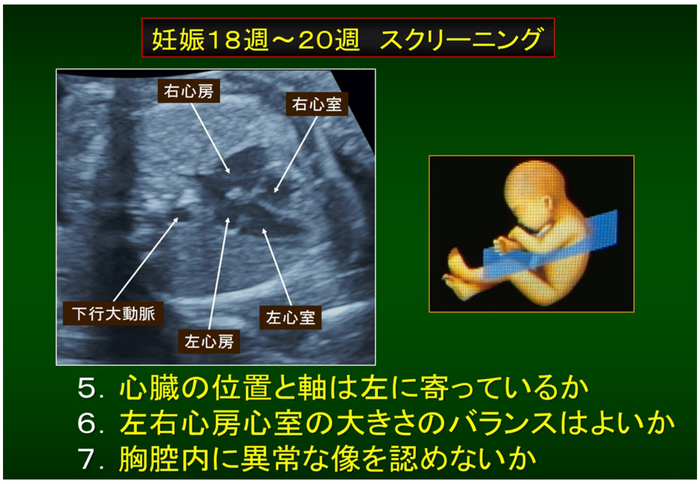

Fig. 2　妊娠 18 週～20 週におけるレベル 2 の心臓に関するチェック項目と超音波断層像

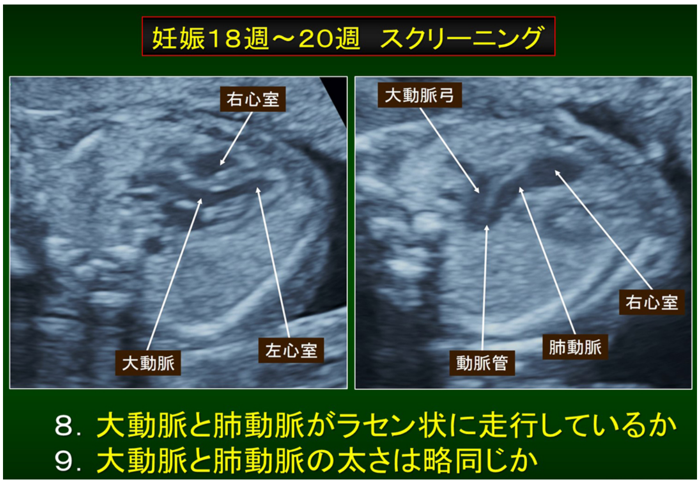

Fig. 3　妊娠 18 週～20 週におけるレベル 2 の心臓に関するチェック項目と超音波断層像

例として，Fig. 2 と Fig. 3 に，レベル 2 における心臓に関するチェック項目を確認する超音波断層像を示す．

III　超音波ドプラ法

超音波ドプラ法は，カラードプラ法，パワードプラ法，パルスドプラ法など超音波ドプラ効果を用いる方法の総称である．

カラードプラ法やパワードプラ法を用いると，血流がカラー表示され，心臓などにおける異常な血流を捉えることができる．また，胎児形態異常スクリーニングのレベル 2 + α のチェック項目である肺静脈血流が左心房に流入しているかの確認のためにも用いられる（Fig. 4）．

Fig. 4　超音波ドプラ法による妊娠 20 週における肺静脈血流の描出

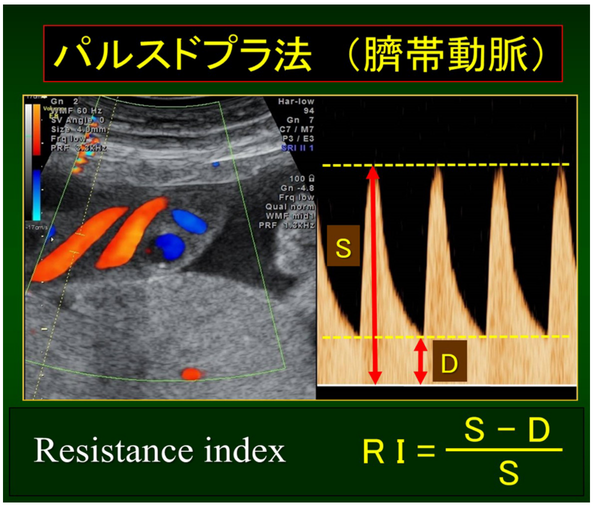

Fig. 5　パルスドプラ法による臍帯動脈 RI の計測

パルスドプラ法を用いると血流波形を描出することができる．Fig. 5 のように血流波形を計測して算出される RI（resistance index）は，計測している動脈よりも末梢側に血液が流れて行き易いか行き難いかを示す指標となるため，胎盤を含めた胎児循環の機能的評価を行うことができる[8]．

胎児に重症の貧血があると胎児中大脳動脈の収縮期最高血流速度が上昇することから，血液型不適合妊娠などで胎児貧血を起こす可能性がある胎児では，パルスドプラ法を用いて中大脳動脈の収縮期最高血流速度が計測される．胎児貧血の有無は最終的には胎児採血によって診断されるが，無侵襲的検査法である超音波検査でスクリーニングすることにより，侵襲的かつ高度な技術が必要な胎児採血の回数を減らすことができる．

IV　胎児治療

胎児に異常があっても，妊娠週数が早すぎるとか，肺低形成の問題があるなど，従来であれば救命することが困難であったケースでも，疾患によっては超音波ガイド下に胎児治療を行うことにより救命できるようになった．

すなわち，超音波診断装置の進歩は胎児異常の診断を可能にしただけでなく，胎児貧血に対する胎児輸血や，胎児胸水に対する胸腔羊水腔シャント術（Fig. 6）のような胎児に対する治療（胎児治療）をも可能にした[9]．

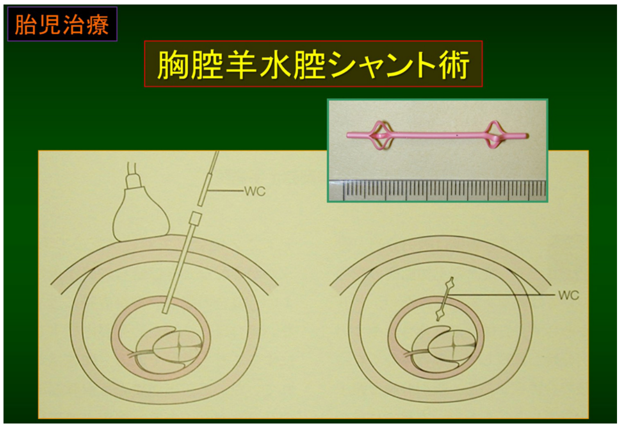

Fig. 6　胎児胸水に対する胎児治療

Fig. 7　3 次元超音波による胎児体表の 3 次元像
耳介低位と小顎を認める．18 トリソミーの症例である．

V　3 次元超音波

超音波とコンピュータを組み合わせて胎児を立体的に描出できる 3 次元超音波が出現したのは 1986 年のことであるが[10]，その後のコンピュータを中心とした工学技術の進歩は目覚しく，現在では一般臨床現場にも 3 次元超音波診断装置が広く普及している．

3 次元超音波を用いると，胎児の体表（Fig. 7）を 3 次元的に観察することができるだけでなく，骨格の 3 次元像（Fig. 8），嚢胞性病変部の 3 次元像（Fig. 9）など多彩な 3 次元像を描出できる．さらに任意の断面を描出することもでき，検査時の胎児の位置や向きにかかわらず正中矢状断面のような基本断面を描出することが可能で，例えば脳梁の有無を

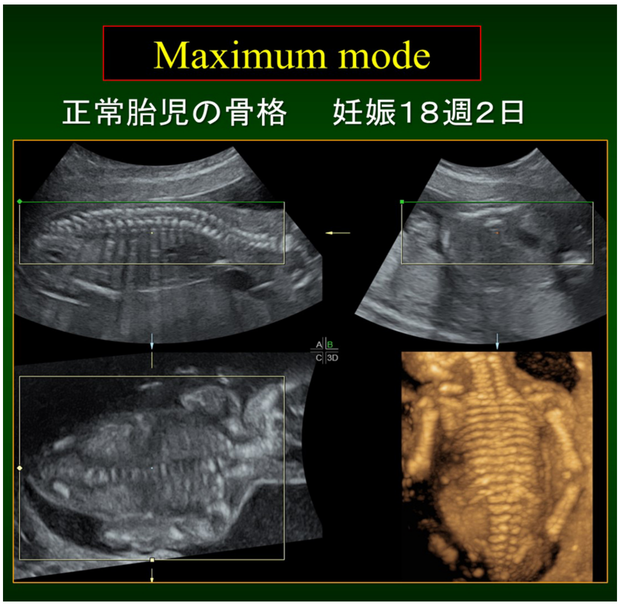

Fig. 8　**3 次元超音波による胎児骨格の 3 次元像**

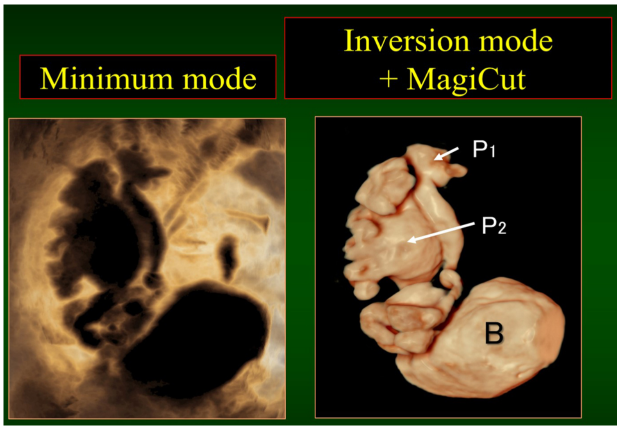

Fig. 9　**3 次元超音波による重複尿管症例**
水腎症と水尿管がある．左は液体部分を表示した像．右は白黒を反転して液体部分を立体的に表示した像．P_1 と P_2 は 2 つの腎盂で，B は膀胱．

確認することができるようになる（Fig. 10）．

3 次元超音波で使われる 3 次元プローブは，内蔵された通常の断層法用のプローブを機械的に振ることによって 3 次元空間を走査していたが，最近，振動子を 2 次元に配列して，すべての走査を電子的に行うプローブが実用化され（Fig. 11），リアルタイムに直交する 2 断面を表示することもできるようになった（Fig. 12）．

VI　CT，MRI

胎児の画像診断はほとんどが超音波検査によるが，骨系統疾患に対して 3 次元 CT が使われることがある（Fig. 13）．

超音波が届きにくい頭蓋内や胸郭内の異常に対しては MRI が用いられる（Fig. 14）が，超音波が届く部位では，超音波のほうが，微細な病変を捉えることができる場合もある（Fig. 15, 16）．

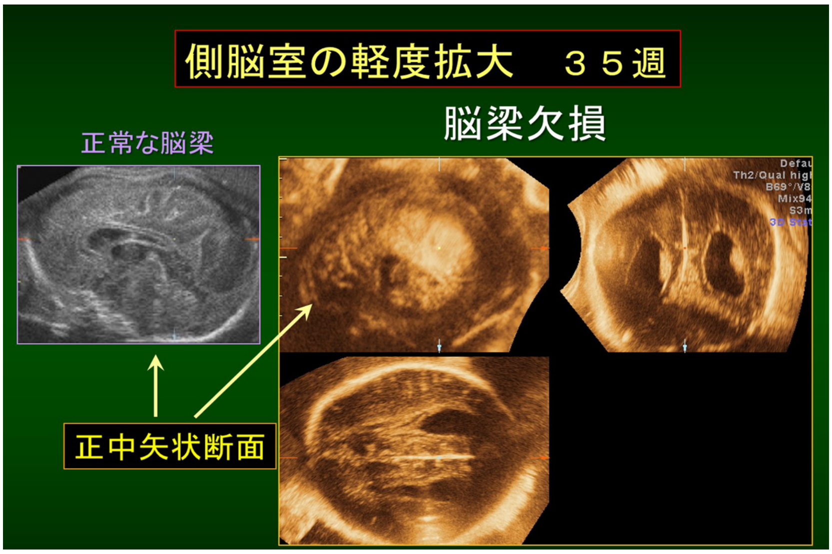

Fig. 10　**3 次元超音波による直交 3 断面表示**
妊娠 35 週の脳梁欠損症例．任意の断面を表示する機能を用いて，検査時の胎児の位置や向きによらず，正中矢状断面，前額断面，横断面の 3 つの断面を 1 つの画面上に描出できる．左の「正常な脳梁」の断面は別の胎児の断面．

Fig. 11　**3 次元超音波プローブ**
右の 2D（超音波断層法）プローブは比較のため.

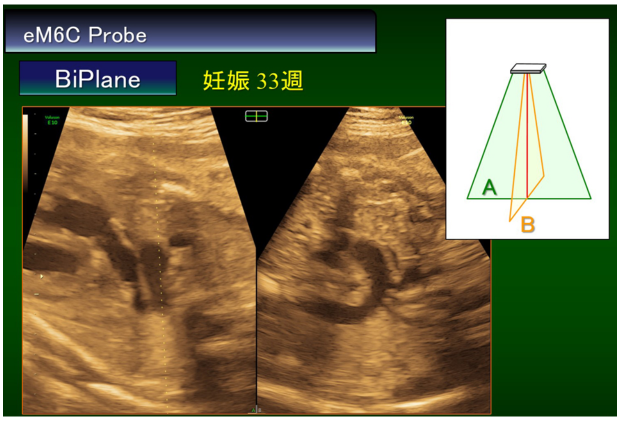

Fig. 12　**電子走査型の 3 次元プローブによるリアルタイム直交 2 断面表示**
左は胸部横断像．右はそれに対して直交する断面．大動脈弓が描出されている．

Fig. 13　**3 次元 CT による胎児骨格の 3 次元像**
妊娠 29 週．双胎症例で，一児は妊娠 20 週で死亡し，生児は左肋骨欠損と二分脊椎がある．

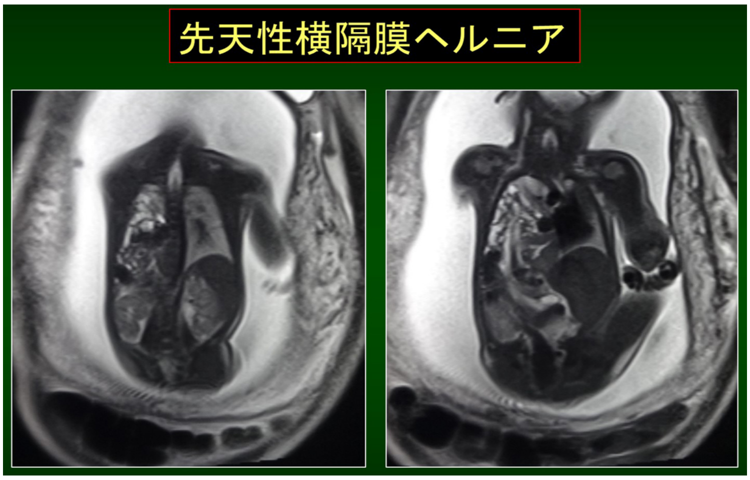

Fig. 14　**胎児 MRI 像**
妊娠 34 週の先天性横隔膜ヘルニア

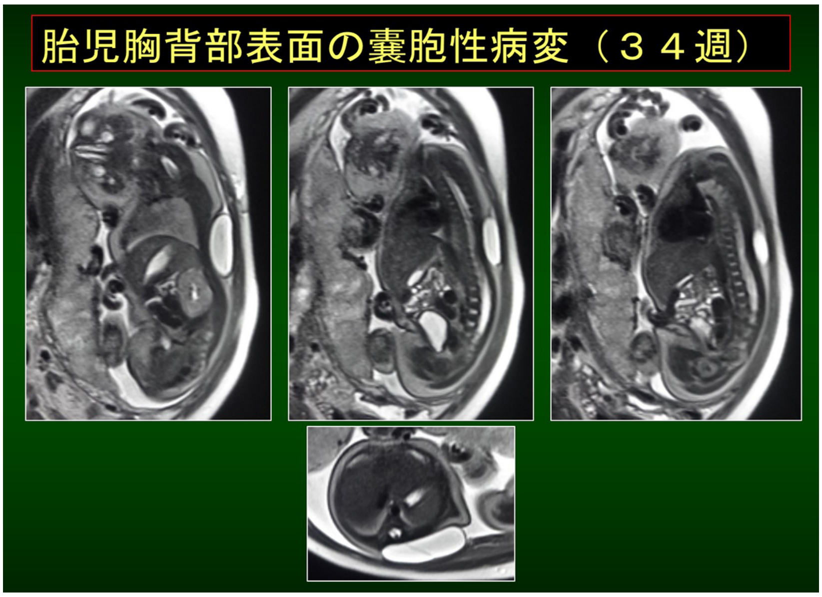

Fig. 15　胎児 MRI 像
妊娠 34 週．脊髄髄膜瘤が疑われるが脊髄腔と瘤の連続性が不明．

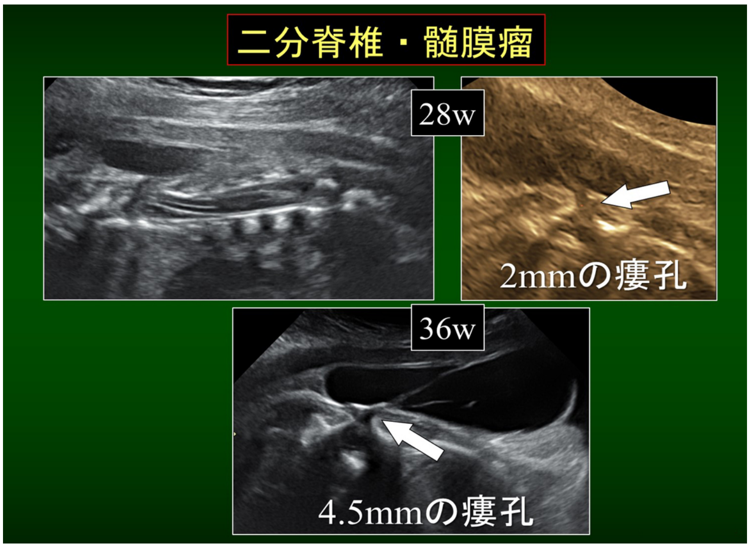

Fig. 16　脊髄髄膜瘤の超音波断層像
Fig. 15 と同じ症例．MRI よりも早い週数（妊娠 28 週）でも小さな瘻孔が確認できている．36 週では脊髄が髄膜瘤内に伸びて行っているのが明瞭に描出されている．

VII　結　　語

超音波断層診断装置の出現とその進歩により，周産期における画像診断は劇的な進歩を遂げている．超音波が苦手とする骨や骨に囲まれた部分の観察には，3 次元 CT や MRI も使われ，胎児診断の助けとなっている．

経腟プローブ，超音波ドプラ法，3 次元超音波などの新技術も開発され，母体内に隠れている胎児の形態や血行動態など様々な情報を得ることができるようになった．さらに超音波診断装置によって胎児治療も可能になり，「Fetus as a Patient」という概念が現実のものとなってきている．その一方で，未だ十分な超音波検査を受けていない胎児も少なくない．今後，超音波胎児形態異常スクリーニングの一層の普及によって，出生前診断の恩恵から漏れる胎児が少しでも減ることを期待したい．

日本小児放射線学会の定める利益相反に関する開示事項はありません.

文　献

1) 馬場 一憲：胎児形態異常スクリーニング総論．馬場一憲（編）．超音波胎児形態異常スクリーニング．東京：文光堂，2015: 2–5.
2) 馬場 一憲：重篤な胎児異常を見逃さないために（妊娠20週以前のチェック項目）．埼玉県産婦人科医会報 2005; 36: 39–41.
3) 馬場 一憲：妊娠中の胎児診断（形態異常のスクリーニング）．日本産科婦人科学会（編）．産婦人科研修の必修知識 2011．東京：日本産科婦人科学会，2011: 109–113.
4) 日本産科婦人科学会周産期委員会：超音波による胎児評価に関する小委員会報告（2015 年 6 月）．http://fa.kyorin.co.jp/jsog/readPDF.php?file=67/6/067061517.pdf（参照 2016/10/10）
5) 日本産科婦人科学会周産期委員会：超音波による胎児評価に関する小委員会報告（2016 年 6 月）．http://fa.kyorin.co.jp/jsog/readPDF.php?file=68/6/068061381.pdf（参照 2016/10/10）
6) 馬場 一憲，市塚 清健（編）：超音波胎児形態異常スクリーニング．東京：文光堂，2015.
7) 馬場 一憲，市塚 清健（編）：正常がわかる胎児超音波検査．東京：文光堂，2016.
8) 神崎 徹：胎児胎盤循環系の評価法とその異常．馬場 一憲（編）．目でみる妊娠と出産．東京：文光堂，2013: 68–69.
9) 村越 毅：胎児治療．馬場 一憲（編）．目でみる妊娠と出産．東京：文光堂，2013: 74–75.
10) Baba K, Satoh K: Development of the system for ultrasonic fetal three-dimensional reconstruction. Acta Obstetrica et Gynaecologica Japonica 1986; 38(8): 1385–1986.