

# CT colonographyにおける低被曝化：逐次近似法の応用

Application of Iterative Reconstruction on CT Colonography for Low Dose Scanning

市川 珠紀<sup>1)</sup> Tamaki Ichikawa  
長谷部光泉<sup>2)</sup> Terumitsu Hasebe  
川又 郁夫<sup>3)</sup> Fumio Kawamata

川田 秀一<sup>1)</sup> Shuichi Kawada  
橋田 和靖<sup>2)</sup> Kazunobu Hashida  
渡辺 勲史<sup>4)</sup> Norihito Watanabe

<sup>1)</sup>東海大学医学部 専門診療学系画像診断学  
<sup>2)</sup>東海大学医学部附属八王子病院 放射線科  
<sup>3)</sup>東海大学医学部附属八王子病院 診療技術部  
<sup>4)</sup>東海大学医学部附属八王子病院 消化器内科

CT colonography (CTC) による大腸癌検診には低線量撮影が要求され、低線量化によるノイズの低減に逐次近似法を使用した Intelli IP<sup>\*1</sup> (Advanced) の CTC への応用が期待される。ファントム例・臨床例を含め Intelli IP (Advanced) の CTC への応用を検討した。その結果、Intelli IP (Advanced) を使用することでノイズが低減され、通常線量の 1/2-1/4 での撮影が可能で、至適 Intelli IP (Advanced) level は 5-6 と考えられた。

Computed tomography colonography (CTC) using low dose scan is important for colorectal cancer screening. Intelli IP<sup>\*1</sup> (Advanced) using 1/4-1/2 dose shows improved diagnostic performance with less image noise. Low dose scanning CT images using Intelli IP (Advanced) are able to evaluate colorectal cancer and extra-colonic findings. Optimal Intelli IP (Advanced) on CTC level was 5-6.

**Key Words:** CT Colonography, Colorectal Cancer, Screening, Iterative Reconstruction

## 1. はじめに

2003年にPickhardtらは無症状患者を対象にしたCT colonography (CTC) による大腸癌検診法を報告し、CTCによる1cm以上のポリープの検出感度は93.8%、特異度96%と極めて良好な結果を示した<sup>1)</sup>。さらに米国においてACRIN (American College of Radiology Imaging Network) によるマルチセンタースタディによりCTCの大腸検診の評価が報告され、欧米でのCTCの普及が急速に進んでいる<sup>2)</sup>。一方本邦でCTCの普及はなかなか進まなかったが、2012年の診療報酬改定で、二酸化炭素自動注入器と16列以上のMDCTを使用したCTC検査に保険点数600点が加算され、その潮流が大きく変わりつつある<sup>3)</sup>。最新ワークステーションによるCTCは優れた画質を有し、残渣、残液の問題はfecal taggingやエレクトロニッククレンジングといった手法で解決できるようになった<sup>4)5)</sup>。CTC検診には短時間で効率的に見落とすことなく病変を検出することが要求され、そのため、われわれは腸管の性状を正確に表示できる腸管展開像と形状解析フィルタ

を開発した<sup>6)</sup>。また検診では幅広い世代の健常人を撮影するため低被曝化が必須である。これらの背景において、われわれは低線量撮影で高画質が得られる逐次近似法のCTCへの応用を検討した。本稿でファントム例・臨床例を含めその概要を説明する。

## 2. パノラマ画像と形状解析フィルタ

CTC画像の表示法の代表は、MPR (multi-planar reconstruction) 像を含む二次元画像、仮想内視鏡像、注腸類似画像であるCT air enema像や腸管展開像である三次元画像があり、これらの表示法を駆使し読影を行う<sup>7)9)</sup>。1mm以下の膨大な横断像の観察は読影者に肉体的・精神的な負担が大きい。仮想内視鏡像の自動fly through法では襞の裏側などに盲点が生じ、読影者は自主的に見えていない部の観察を行わなくてはならず、背臥位と腹臥位の二体位の観察にはある

程度の時間を要する。腸管展開像はあたかも大腸を摘出標本のように切り開いて内腔面全体を展開させた画像であり、肛門から回盲部まで大腸全域の静止画として一望でき盲点がない<sup>9)</sup>。腸管展開像には、腸管を同じ幅で展開する方法と腸管の本来の形状を残したまま展開する画像があり、われわれの開発したパノラマ画像は後者に当たる<sup>6)</sup>。パノラマ画像の長所は腸管の狭小化を容易に把握できる点であり、炎症による腸管の伸展不良部位や進行癌による腸管の狭窄を瞬時に拾い上げることが可能である(図1、図2)。短所は腸管径が引き伸ばされず、伸展が不良な部位の病変は小さく描出され、見落としの要因となりうることである。

CTC検診において短時間で見落としなく病変を検出するために、コンピューター支援システム(CAD: computed assisted detection)が開発されている<sup>10)</sup>。本邦では未だ認可されたCTC用コンピューター支援システムはない。形状解析フィルタは大腸嚢などの正常部と比較し隆起した部分を色分けし表示するフィルタで、CADと同様の能力が期待できる。大腸癌検診では1cm以上のポリープの検出は必須であり、このフィルタ機能により、盲点のないパノラマ画像に隆起した部位を表示することができ、読影者は観察時間の短縮が見込まれる<sup>6)</sup>。隆起性部位の強調表示色はそれぞれの点に算出したShaped Index値に対し一意に与えられた色を割り当てる。Shaped Indexは表面の形状の変化に対し0から1までの数値を連続的に与え、より球形に近い隆起(所謂ポリープ)を赤く色分けするカラーマップである。形状解析フィルタはポリープだけでなく、癌による不整な隆起の一部を異常として検出し、進行癌の検出も可能である(図2)。高性能のCADの条件は、感度と特異度が高く、偽陰性が低い点が挙げられるが、形状解析フィルタでは1症例で平均20個以下の隆起検出数であり、十分日常診療に使用可能なレベルに達している。

### 3. CTCの低被曝化

CTCでは背臥位と腹臥位の二体位の撮影がなされ、低被曝化を考慮し、一方の体位で通常線量の半分を使用することが望ましい。本邦では便潜血陽性患者の次の検査として注腸が施行されることが少なくない。CTCと注腸検査の診断能の比較においては、CTCの方がポリープや癌の検出能が高いと報告されているが、被曝においては問題が残る<sup>11)</sup>。CTCは通常線量で二体位撮影すると注腸検査より被曝量が多く、50mAs以下の撮影では注腸より被曝が少なくなるとされ、より低線量撮影が推奨されている<sup>12)13)</sup>。6mm以上のポリープの検出には10mAsで可能であるとの報告もあるが<sup>14)</sup>、CTCでは腸管内腔だけでなく、腸管外病変の評価もしなければならず、過小な低線量撮影では画像ノイズが増加し、診療に支障をきたす画像となる。近年CTの低線量撮影の実現化に逐次近似法が応用されつつある。CTCにおける逐次近似法の応用の報告も見受けられ、各社から1/4~1/2での低線量撮影の報告がなされている<sup>15)~18)</sup>。

### 4. Intelli IP<sup>※1</sup> (Advanced)

日立メディコは逐次近似法を応用したノイズ低減法: Intelli IPを開発し、これにより40%以上のノイズ低減効果が見込まれる<sup>19)</sup>。Intelli IP (Advanced)は投影空間上でのノイズ成分を高精度な統計学的モデルに基づき逐次近似解法により除去した上で、画像空間上で解剖学的情報と統計学的情報を基に画質のコントロールを行う処理である。臨床的メリットとしては被曝低減、アーチファクトの抑制、高周波強調フィルタ適応時の画質向上が得られる点が挙げられる。

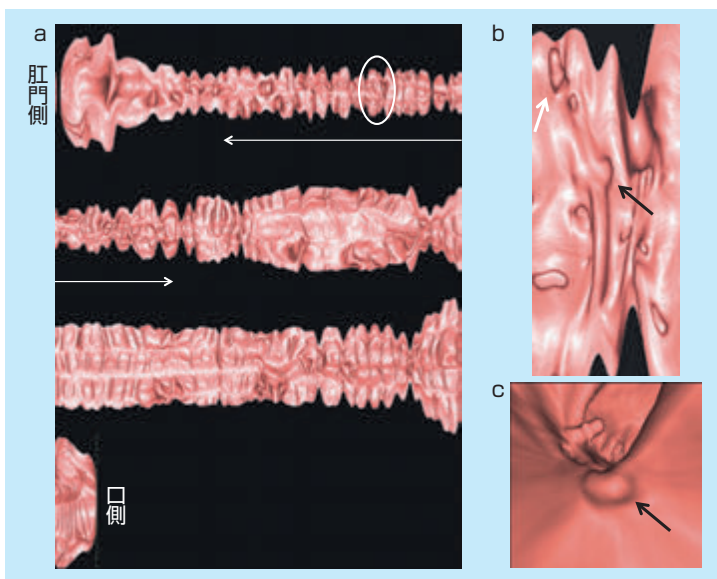


図1: 大腸憩室炎と早期大腸癌のパノラマ画像  
a: S状結腸から下行結腸は慢性的憩室炎のため他の腸管の部位に比し伸展不良である。(矢印の範囲)  
b: aで示す楕円の部分の拡大像では大腸嚢から連続する早期大腸癌(黒矢印)が描出されている。白矢印: クリップ  
c: bで示した部位の仮想内視鏡像。黒矢印: 早期大腸癌

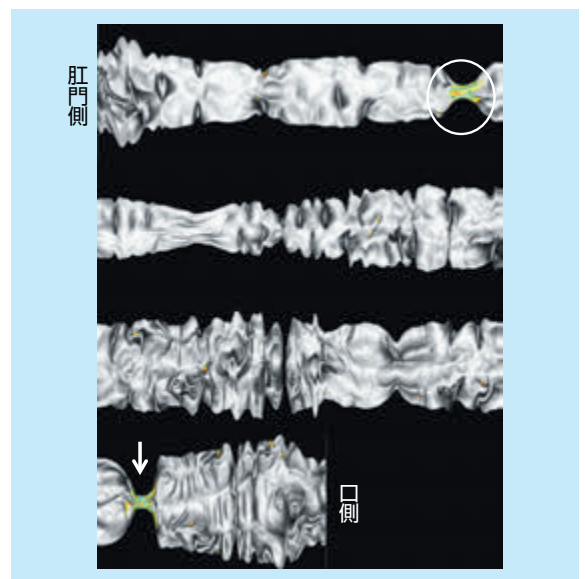


図2: 形状解析フィルタによる進行癌の検出  
上行結腸の進行癌による内腔の狭窄があり、形状解析フィルタにより色づけされ表示されている(白矢印)。S状結腸部の伸展不良部も形状が正常と異なるため色づけされているが、偽病変である。その他小さな色づけ部も偽病変であるが、ほとんどの大腸嚢は正常と認識されている。

## 5. Intelli IP (Advanced)のCTCへの応用

われわれは、まずファントムにて低線量化の至適線量を評価し、臨床例での検討を行った。使用したファントムには早期大腸癌を想定した複数の異なった大きささと高さを持つドーナツ状隆起物を作成した(図3)。撮影プロトコルを表1に示す。仮想内視鏡・パノラマ画像の三次元画像と二次元画像を作成し、描出能を評価した。図4aの仮想内視鏡像で示すように低線量化に伴い、壁のノイズが増加し、隆起物の局在診断が可能であるが、10mAs以下では高さ0.5mm以下の隆起物

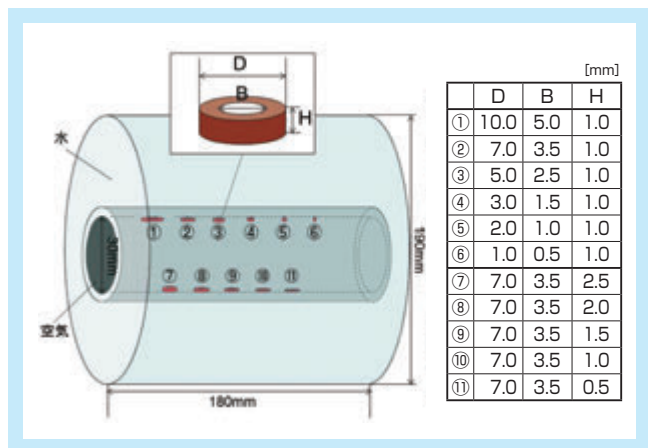


図3：ファントムの模式図

B：bore、D：diameter、H：height

表1：使用機種と撮影条件

使用機種	日立メディコ製 64列CT SCENARIA <sup>※2</sup>
管電圧	120kV
管電流	10～600mA
再構成間隔	0.625mm
再構成スライス厚	0.625mm
再構成FOV	100mm
スキャンタイム	0.5s/rot
ビームピッチ	0.8

の質的診断が困難であった。図4bは高さ1mm、横径5mmの隆起物の仮想内視鏡像での正面視画像で、25mAs以上の線量でなければ壁のノイズの問題だけでなくドーナツ状の隆起物の形状が失われた。パノラマ画像の全体像(図4c)でも、高さ1mm、横径5mm以下の隆起物(上段右3個：矢印)は20mAs以下では形状が損なわれた。図4dは高さ1mm、横径5mmの隆起物の横断像で、25mAs以下では壁のノイズの増加とともに隆起物の局在診断も困難であった。低線量撮影による画質の低下は三次元画像より二次元画像でより明瞭であり、平坦型早期大腸癌を想定した高さ1mm、横径5mmの隆

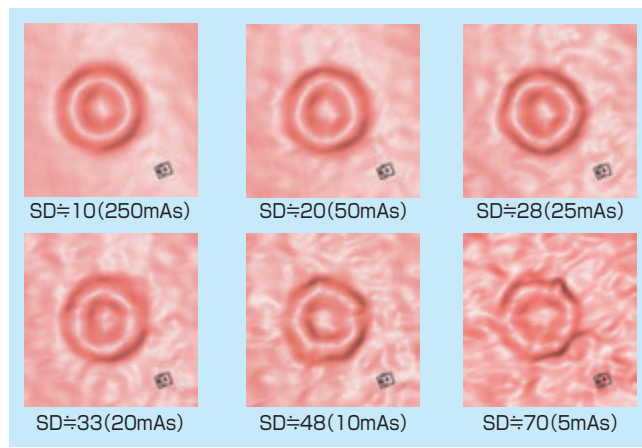


図4b：高さ1mm、横径5mmの隆起物の仮想内視鏡正面視画像

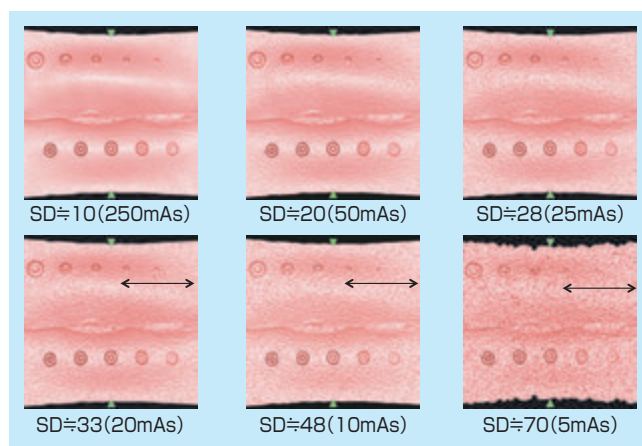


図4c：ポリープ全体のパノラマ画像

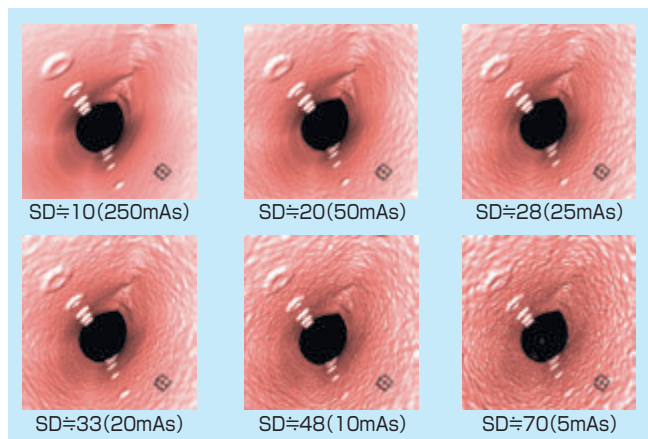


図4a：隆起物全体の仮想内視鏡像

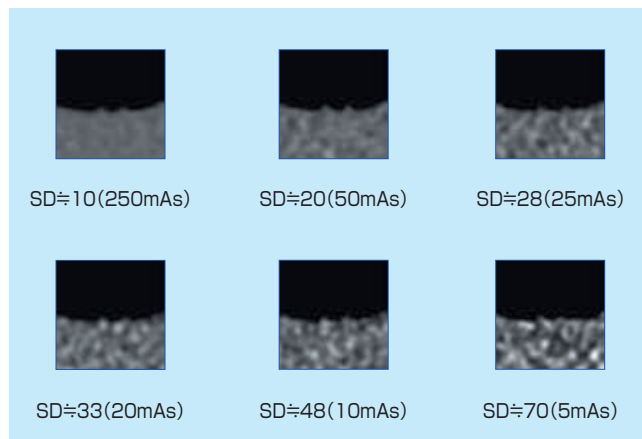


図4d：高さ1mm、横径5mmの隆起物の横断像

起物の低線量化は通常線量の1/5が適当と考え、50mAsの撮影でIntelli IP (Advanced)でのノイズ低減を試みた。Intelli IP (Advanced) level 3-6の仮想内視鏡像では画像のノイズ低減が確認できたが、level 7ではノイズ削除が強すぎ、隆起物全体像が不鮮明化した(図5a)。横断像での画像改善は壁のノイズ低減を考慮しlevel 4-6が至適と考えられた(図5b)。ファントム実験の結果から、ポリープの拾い上げを目的とする検診ではSD = 45(10mAs)、大腸疾患の精査目的ではSD = 20(50mAs)までの線量低下が可能であった。Intelli IP (Advanced)の効果は三次元画像に比し二次元画像で発揮され、Intelli IP (Advanced) level 4-6を使用することで標準線量と同程度(SD = 11-14程度)までノイズ低減が可能で、画像の均一性が改善された。

臨床例では一体位で標準線量、他体位で低線量撮影を行い、画像の劣化とIntelli IP (Advanced)による画像改善を検討した。横行結腸進行癌の仮想内視鏡像では、ファントム実験と同様、低線量化に伴う画像の劣化が少なかったが、Intelli IP (Advanced) level 4-6を使用することで通常のフィルタ補正逆投影法(FBP: Filtered back projection)よりさらに大腸粘膜面のノイズが軽減できた(図6a)。同症例の二次元画像ではIntelli IP (Advanced) level 4-6で腸管壁外のノイズ低減がされた(図6b)。CTCでは腸管外所見の検出も重要で、低線量化により画像が劣化することは問題である。低線量撮影でノイズが増加した腎嚢胞は非定型嚢胞のよう

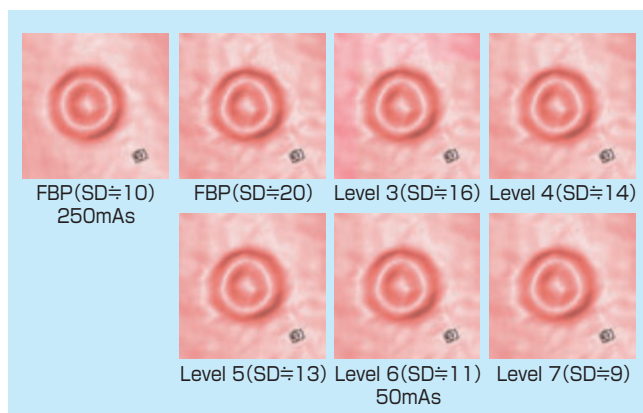


図5a : Intelli IP (Advanced)による高さ1mm、横径5mmの隆起物の描出能の変化(仮想内視鏡像)  
FBP : Filtered back projection

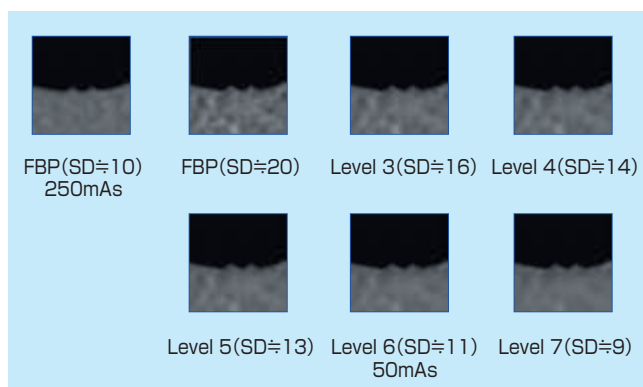


図5b : Intelli IP (Advanced)による高さ1mm、横径5mmの隆起物の描出能の変化(横断像)

に描出されたが、Intelli IP (Advanced) level 5-6で嚢胞内部は均一化した通常嚢胞であることが明らかとなった(図7)。臨床例はIntelli IP (Advanced)を使用することで通常線量の1/4-1/2の低線量化が可能であり、その効果は特に二次元画像で発揮され、至適Intelli IP (Advanced) levelは5-6と考えられた。

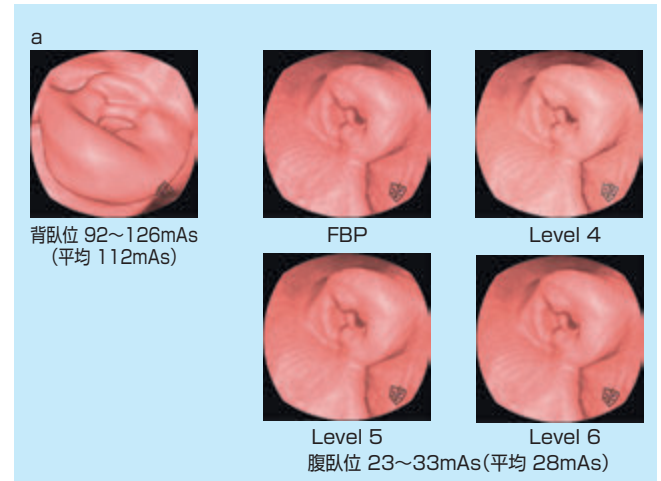


図6a : Intelli IP (Advanced)による進行癌の描出能の変化(仮想内視鏡像)

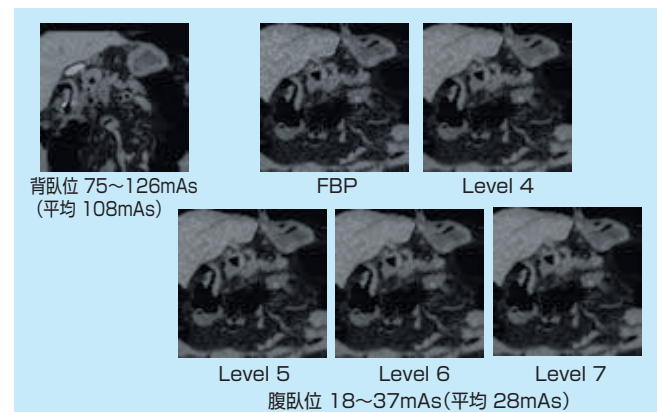


図6b : Intelli IP (Advanced)による進行癌の描出能の変化(冠状断像)

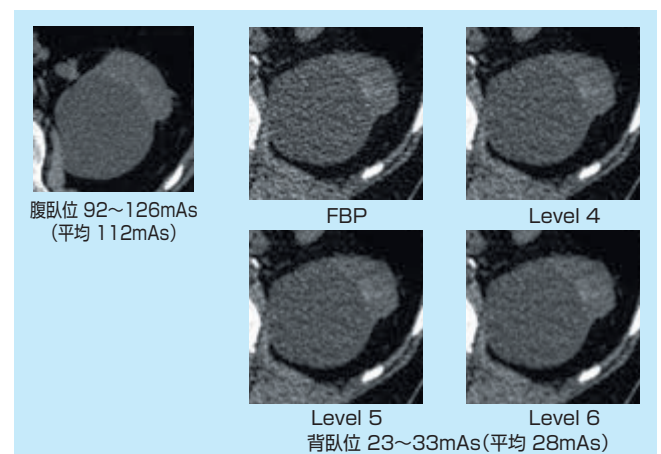


図7 : Intelli IP (Advanced)による腎嚢胞の描出能の変化(横断像)

## 6. Intelli IP (Advanced)のCTCの将来性

本邦ではCTCによる大腸癌検診が広まりつつある一方、外科医からは腹腔鏡下術前のVirtual CT Laparoscopyの需要が高まっている。Virtual CT Laparoscopyとは腹腔鏡下大腸癌手術前に重要な血管解剖構築を基本とした三次元複合画像で、造影剤を使用した撮影を行い、動脈・門脈・静脈・尿管と腫瘍との関係を明らかにする手技である<sup>20)</sup>。4回以上の撮影が必要となり、被曝が問題となるが、良好な血管の造影効果が必要なため、過度の低線量撮影は行えない。そこで低電圧撮影を行い、コントラストを強調させ、そのノイズを低減する逐次近似法を使用する試みがなされている。この方法を用いれば、低線量低電圧撮影で、造影剤の投与量の軽減が可能になるであろう。将来的にはIntelli IP (Advanced)を含め逐次近似法を応用したノイズ低減CTCが普及すると考え、造影法を考慮した至適撮影法の検討が必要である。

## 7. まとめ

本稿では低線量撮影で高画質が得られる逐次近似法：Intelli IP (Advanced)のCTCへの応用を検討し、画質を評価した。Intelli IP (Advanced)を使用することで通常線量の1/4-1/2の低線量化が可能であり、大腸癌検査に有用な手法になりうると考えられた。これにより本邦でのCTC検診がより普及するものと思われる。

※1 Intelli IP、※2 SCENARIAは株式会社日立メディコの登録商標です。

## 参考文献

- 1) Pickhardt PJ, et al. : Computed tomographic virtual colonoscopy to screen for colorectal neoplasia in asymptomatic adults. *N. Engl. J. Med.* 349 : 2191-2200, 2003.
- 2) Johnson CD, et al. : Accuracy of CT colonography for detection of large adenomas and cancers. *N. Engl. J. Med.* 359 : 1207-1217, 2008.
- 3) 厚生労働省HP : 診療報酬の算定方法, 第3節コンピューター断層撮影科 E200 コンピュータ断層撮影 <http://www.Mhlw.go.jp/stf/shingi/2r98520000021eilattt/2r98520000021els.pdf>
- 4) Lefere PA, et al. : Dietary fecal tagging as a cleansing method before CT colonography: initial results polyp detection and patient acceptance *Radiology* 224 : 393-403, 2003.
- 5) Pickhardt PJ, et al. : Electronic cleansing and stool tagging in CT colonography: advantages and pitfalls with primary three-dimensional evaluation. *Am J Roentgenol.* 181 : 799-805, 2003.
- 6) 中澤哲夫, ほか : CT colonoscopyの新機能 - 形状解析フィルタの特長 -, *MEDIX*, 57 : 30-33, 2012.
- 7) Pickhardt PJ, et al. : Primary 2D versus primary 3D polyp detection at screening CT colonography. *Gastrointestinal Imaging* 189 : 1451-1456, 2007.

- 8) Macari M, et al. : Comparison of time-efficient CT colonography with two- and three-dimensional colonic evaluation for detecting colorectal polyps. *AJR Am J Roentgenol.* 174 : 1543-1549, 2000.
- 9) Silva AC, et al. : Three-dimensional virtual dissection at CT colonography: unraveling the colon to search for lesions. *RadioGraphics* 26 : 1669-1689, 2006.
- 10) Taylor SA, et al. : Computer - assisted reader software versus expert reviewers for polyp detection on CT colonography. *AJR Am J Roentgenol* 186 : 696-702, 2006.
- 11) Sosna J, et al. : Critical analysis of the performance of double-contrast barium enema for detecting colorectal polyps >6mm in the era of CT colonography. *AJR Am J Roentgenol* 190 : 374-385, 2008.
- 12) Neri E, et al. : CT colonography versus double-contrast barium enema for screening of colorectal cancer comparison of radiation burden. *Abdom Imaging* 35 : 596-601, 2010.
- 13) Hirohujii Y, et al. : Evaluation of patient dose for barium enemas and CT colonography in Japan. *Br J Radiol* 82 : 219-227, 2009.
- 14) Iannaccone R, et al. : Colorectal polyps: detection with low-dose multi-detector row helical CT colonography versus two sequential colonoscopies. *Radiology* 237 : 927-937, 2005.
- 15) Flicek KT, et al. : Reducing the radiation dose for CT colonography using adaptive statistical iterative reconstruction: A pilot study. *AJR Am J Roentgenol* 195 : 126-131, 2010.
- 16) Amy K, et al. : Reducing the radiation dose for CT colonography using adaptive statistical iterative reconstruction: A pilot study. *AJR Am J Roentgenol.* 195 : 126-31, 2010.
- 17) Fletcher JG, et al. : Validation of dual-source single-tube reconstruction as a method to obtain half-dose images to evaluate radiation dose and noise reduction: phantom and human assessment using CT colonography and sinogram-affirmed iterative reconstruction (SAFIRE). *J Comput Assist Tomogr* 36 : 560-569, 2012.
- 18) Yoon MA, et al. : Adaptive statistical iterative reconstruction and Veo: assessment of image quality and diagnostic performance in CT colonography at various radiation doses. *J Comput Assist Tomogr* 36 : 596-601, 2012.
- 19) 後藤大雅, ほか : 逐次近似法を用いたCT用ノイズ低減処理の高性能化. *MEDIX*, 56 : 43-46, 2012.
- 20) Matsuki M, et al. : Virtual CT colectomy by three-dimensional imaging using multidetector-row CT for laparoscopic colorectal surgery. *Abdo Imaging.* 30 : 698-708, 2005.