

講座

子牛の呼吸器病における肺エコーを用いた病変活動性評価に基づく治療の開始および終了判断

前田 洋佑

北里大学獣医学部 獣医学科 大動物臨床学研究室

要約

子牛の呼吸器病において、肺エコーは病変を迅速に可視化する有用なツールである。しかし、その高い診断感度ゆえに、微小病変への過剰な治療介入（不必要な抗菌薬投与）や、線維化病変に対する抗菌薬の漫然とした継続投与といった新たな臨床的ジレンマを生んでいる。本稿では、牛特有の解剖学的特徴を踏まえ、ヒト医療の治療抵抗性肺炎等の概念を援用し、病変のサイズ推移と動態評価に、患畜の臨床症状を加えた総合的な評価を組み合わせることで、抗菌薬の開始と終了のタイミングを決定する客観的な考え方を提示する。具体的には、1 cm以上の病変は発育への影響が報告されていることから治療介入を検討する一つの目安とし、シュレッドサインやダイナミック（動的）なエアブロンコグラムを活動性のサインとして治療開始の指標とし、境界の平滑化やスタティック（静的）な動態への移行を非活動性のサインとして休薬の指標とする、4つの病態フェーズを提案した。本枠組みは、獣医師がエコーの限界と利点を理解した上で、根拠を持って治療開始と終了（休薬）を判断し、薬剤耐性対策と農場経済の改善を両立させるための一つの参考指標となることが期待される。

キーワード：開始，終了，呼吸器病，肺エコー，薬剤耐性

【緒言】

子牛の呼吸器病 (Bovine Respiratory Disease: BRD) 管理における最大の課題は、治療介入と休薬のタイミングが主観に委ねられやすい点にある。従来の身体所見による診断は、異常な臨床症状を伴わない肺病変、すなわち潜在性BRDを見逃しやすく、介入の遅れは発育不良や将来の枝肉重量・乳量の低下、早期淘汰といった深刻な経済的損失を招くリスクがある^{1,2)} (表1)。近年牛の臨床現場で普及しつつある肺エコーは、高い感度 (66~94%) と特異度 (66~100%) をもって肺病変 (コンソリデーション) を迅速に検出できる非常に有用なツールである²⁾ (表1)。微細な初期病変も可視化できるが、その

表1 肺エコーの臨床的有用性とオンファームにおける応用 (文献[2]より引用・改変)

項目	内容
診断精度	<ul style="list-style-type: none"> 感度: 66~94% 特異度: 66~100%
コンソリデーションがもたらす長期的・経済的損失	<ul style="list-style-type: none"> 発育の低下 将来の枝肉重量の低下 早期淘汰 将来の乳量の低下 (乳牛)
オンファームにおける主な応用目的	<ul style="list-style-type: none"> 疾病発生パターンのモニタリング 臨床診断の精度の評価 治療開始の決定 治療効果の判定 治癒の定義または治療期間の決定 導入前の検査 淘汰の意思決定

高感度ゆえに無症状かつ1 cm未満の微小病変にまで抗菌薬を投与すべきかという「治療開始のジレン

マ」が生じ、過剰な抗菌薬治療による薬剤耐性の誘発が懸念されている。

一方で、「治療終了の判断」においても深いジレンマが存在する。肺炎治療の理想的なゴールは肺組織の完全な正常化（画像的治癒）であるが、臨床現場では必ずしもそのような牛ばかりではない。牛の肺は他動物種と比較して小葉間結合組織が極端に発達し側副換気が乏しいため³⁾、重度な炎症を経た組織は強固に線維化（癥痕化）し、画像上に巨大な病変として終生残存しやすい。この解剖学的脆弱性に起因する画像上の残存病変は必ずしも活動性の肺炎を意味するわけではなく、非活動性の治癒した肺炎や癥痕性病変の可能性がある²⁾。

ヒト医療では、適切な抗菌薬治療後も画像異常が遷延する病態を「治療抵抗性肺炎（Non-resolving pneumonia）」と総称する。その中には、生理的な吸収遅延である「画像的消退の遅延（Slowly resolving pneumonia）」と、感染が持続する「真の治療抵抗性」が混在しており、両者は厳密に鑑別される⁴⁾。ただし、これらの概念の牛への直接的適用に関するエビデンスは限定的であり、解釈には慎重を要する。これを牛臨床に援用すると、治療後の残存病変が、可逆的な吸収過程か、真の治療抵抗性（耐性菌や膿瘍）か、あるいは不可逆的な陳旧性病変（非活動性の癥痕）かを見極める必要がある。不可逆的な陳旧性病変に対する漫然とした抗菌薬継続は、薬剤耐性の温床となる。

臨床現場において、これら「活動性の感染」の終息を正確に見極め、抗菌薬の要否を決定するためには客観的な指標が不可欠である。本稿では、エコーを用いた病変のサイズ推移と、ヒト小児科領域の概念を応用した動態評価（エアブロンコグラムの活動性の有無）および患畜の全身状態（臨床症状）を加えた総合的な考え方を提示する。

肺エコーにおける基本所見と「治療判断」への応用

肺エコーは、超音波が空気と水分の境界で生じさせる「アーティファクト」を読み解く検査である。診断の精度を高めるためには、画像が意味する組織学的変化を正しく解釈し、それを治療開始または終了の直接的な指標へと結びつける必要がある^{5, 6)}。

Aライン（図1）：正常な肺泡は空気で満たされている。超音波は空気界面で反射されるため、胸膜ラインの下方には多重反射による水平な高エコーであるAライン（A-lines）が等間隔に並ぶ。また、健康な胸腔内では呼吸に伴い臓側・壁側の両胸膜が滑り合うラングスライディング（Lung sliding）が観察される⁷⁾。この消失は、胸膜の肥厚や癒着などの物理的な固着、あるいは気胸を示唆する。

Bライン（図2）：肺泡の周囲（小葉間隔壁など）に水分や細胞成分が貯留し始めると、超音波の一部が内部へ侵入し、垂直方向のBライン（B-lines）が出現する。少数のBラインは生理的な範囲

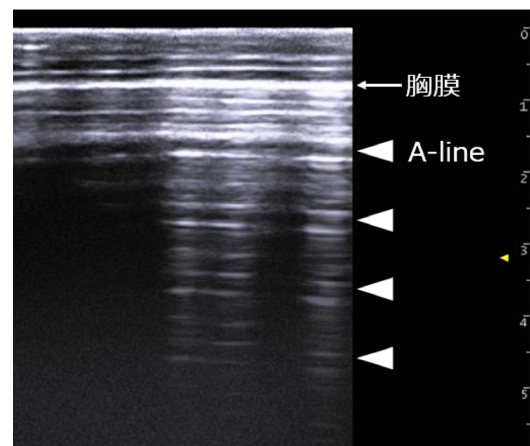


図1 正常肺（Aライン）

正常な含気肺では、空気界面での多重反射により水平なAラインが等間隔に並ぶ。呼吸に伴う胸膜の滑走（ラングスライディング）とともに、治療の最終的な達成目標となる。

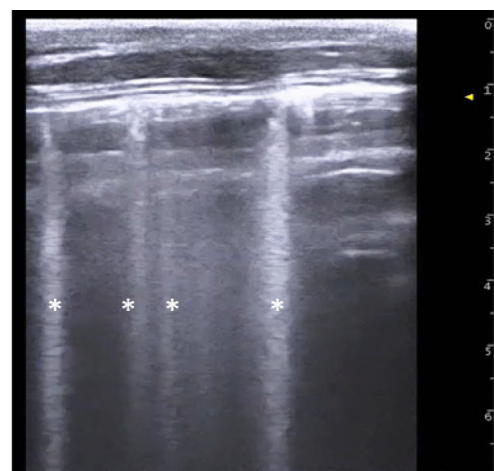


図2 間質性変化（Bライン）

肺泡隔壁の浮腫等により垂直なBライン（*）が出現する。特に3本以上の密集・融合像は、コンソリデーションへの移行を示す前段階である。

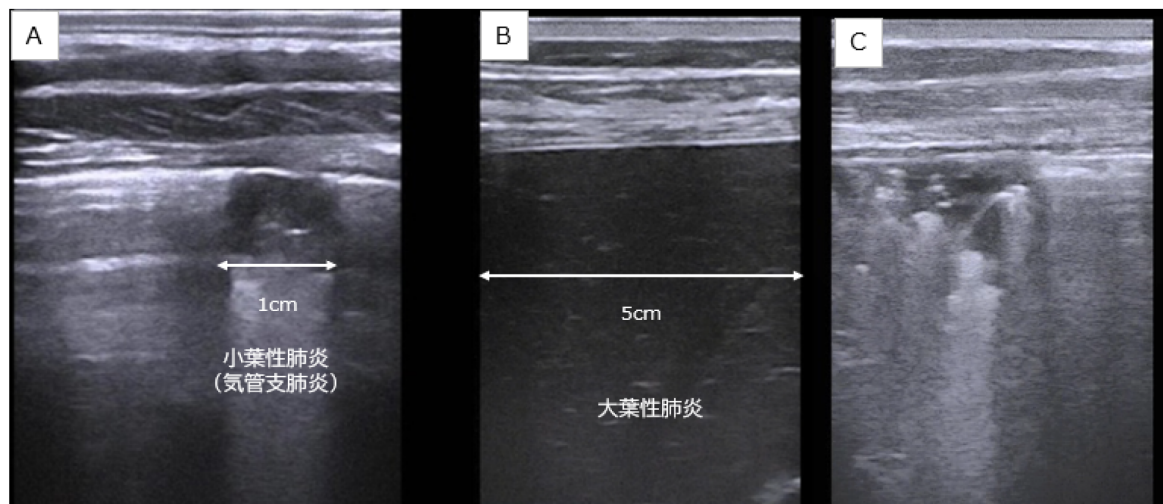


図3 肺実質化（コンソリデーション）の進展と臨床的意義

- (A)小葉性肺炎：最大径1 cm程度の局所病変。初期細菌性肺炎の指標で、早期治療介入の鍵となる。
 (B)大葉性肺炎：病変が5 cm以上に波及・融合した像。発育不良や経済的損失のリスクが高い。
 (C)シュレッドサイン：実質化領域と含気肺の境界が不規則（ギザギザ）な所見。炎症が健常組織を「侵食」している活動期を示す。

内でも認められるが、3本以上の密集や融合は、コンソリデーションへと移行する前段階であり、治療介入の準備または早期開始を検討する指標となる。コンソリデーション（図3）：牛の感染性肺炎の主体である気管支肺炎は、病理学的には小葉単位の炎症（小葉性肺炎）として発症する。炎症が進行し、肺胞内の空気が滲出液に置換されると、肺は完全に超音波を透過し、組織様に描出される（大葉性肺炎）。

この実質化した組織像（コンソリデーション）の内部評価において重要な指標が、エアブロンコグラム（Air bronchogram）である。これは実質化した肺組織の中に、空気を含んだ気管支が線状あるいは点状の高エコー（白）として描出される所見である。臨床判断の鍵となるのは、この空気影が呼吸に伴って動くかどうかの「動態」である。空気影が末梢へ移動したり形態変化したりする「ダイナミック（動的）・エアブロンコグラム」は、気道の開存と空気移動を反映する所見であり、活動性炎症および再含気化のいずれの過程でも認められる。したがって単独で病変の活動性を規定するものではなく、病変サイズや周囲のBライン、臨床症状と組み合わせで総合的に解釈する必要がある。一方で、空気が固定されて動かない「スタティック（静的）・エアブロン

コグラム」は、気道閉塞や炎症後の線維化など空気移動が制限された状態を反映する。また、シュレッドサインは炎症が進行していることを示す重要な所見であり、活動性炎症を強く示唆する所見であるため、抗菌薬治療の開始を積極的に検討すべき根拠となる。

病態フェーズに基づく「治療開始・終了」の考え方

牛の肺炎は多くの場合、経気道感染によって頭腹側（前葉）から始まり、徐々に尾側（中葉および後葉）へと波及する。この「空間的進行」があるため、1頭の牛の中で「前葉は器質化した古い肺炎だが、中葉は活動性の新しい肺炎」というモザイク状の病態を呈することがある。ここでは時間的進行（第1相～第4相）と空間的進行の2軸を統合し、超音波画像から病態を推論し、いつ治療を始め、いつ終わるべきかの判断を下すための4つの実践的モデルを提示する。

各フェーズの評価において鍵となるのが、「病変のサイズ（第一の基準）」と「動態および臨床所見に基づく活動性評価（第二の基準）」の組み合わせである。すなわち、最大径1 cmを介入および退縮のカットオフとしつつ⁸⁾、1 cm以上の病変が残存する場合でも、コンソリデーション周囲に認められて

いたBラインの消失やスタティック（静的）な動態といった非活動性のサインを確認し、臨床症状の改善を組み合わせることで、治療終了（休薬）を論理的に決定していく。

第1相：感染初期・微小病変期

- ・病態生理：主としてウイルス感染等による間質の炎症や、気道閉塞に伴う一過性の無気肺を呈する初期段階である。細菌の爆発的な増殖を伴う滲出性炎症には至っておらず、全身性の炎症反応は乏しい。宿主の免疫応答により自然寛解する可能性を残している。
- ・臨床症状：無症状（潜在性肺炎）であることが多い。
- ・超音波画像動態：最大径1 cm未満の限局的な微小コンソリデーション。
- ・臨床判断：1 cm未満の微小病変はウイルス性の無気肺等でも生じ得るため、直ちに細菌性肺炎の確立を意味しない。近年の研究では1 cm以上の病変から発育への影響が顕在化するとされる¹⁾。したがって、1 cm未満であれば直ちに抗菌薬は投与せず（薬剤耐性リスクの回避）、飼養環境を整え48～72時間後に再評価する経過観察が推奨される。ただし、発熱や著しい元気消失などの臨床症状を伴う場合は、肺野全体への急速な波及（牛RSウイルス等）や、エコーでは描出困難な深部病変の存在を疑い、画像の病変サイズにかかわらず速やかな治療介入を検討すべきである。

第2相：急性・活動性肺炎期

- ・病態生理：ウイルス感染等の先行要因に続き、細菌の二次感染による爆発的な増殖と滲出性炎症が波及した状態。肺胞が滲出液で満たされて広範な実質化（細菌性肺炎）を起こしているが、組織構造や血流は維持されており、抗菌薬の組織移行性が極めて高い「治し時」である。
- ・臨床症状：発熱（39.5℃以上）、食欲不振、咳嗽などの臨床症状を伴う（ただし潜在性BRDのケースもある）。
- ・超音波画像動態：最大径1 cm以上のコンソリデーション、シュレッドサイン（境界不整）、ダイナミック（動的）なエアブロンコグラム、および周辺へのBラインの波及。

- ・臨床判断：1 cm以上の病変は発育低下や経済的損失を防ぐため速やかに治療介入を検討する指標の一つとなる²⁾。治療後のフォローアップ検査でコンソリデーション最大径の増大や尾側領域への波及が認められた場合は、治療が感染の進行速度に追いついていないことを意味するため、薬剤の速やかな変更を検討する。

第3相：非活動性病変・慢性局所化期

- ・病態生理：炎症が沈静化し、病変部が線維化や被包化によって隔離（局所化）された状態。病変内部への血流は遮断され、抗菌薬を投与しても病変を消失させることはできない。牛は残存する健常肺により呼吸は代償されている。
- ・臨床症状：解熱し、活気・食欲が完全に回復（臨床的治癒）。
- ・超音波画像動態：3 cm～5 cmの大きなコンソリデーションが残存するが⁹⁾、シュレッドサインは消失し境界が平滑・明瞭化する。周辺のBラインも消失し、内部のエアブロンコグラムはスタティック（静的）な動態を示す¹⁰⁾。
- ・臨床判断：慢性化した牛の肺炎管理において、現実的な治療のゴールは画像上の病変の完全な消退ではなく、発熱の消失と食欲の安定を指標とした「臨床的治癒」に置かれている。画像における非活動化のサインは、内部の細菌の完全死滅を直接証明するものではないが、病変の拡大が認められず、動態の静止および全身状態の回復が揃っていれば、感染は制御されている可能性が高いと判断される。近年、Buczinskiらは、ヒト小児肺炎における治癒過程の超音波グレード分類を牛に応用している²⁾。この分類では、最重症（Grade 0）から正常（Grade 5）へと回復するプロセスが定義されており、治療の進展とともにGradeの数値が上昇する構造となっている（図4）。
- Grade 5：正常な肺画像
- Grade 4：コンソリデーションは消失しているが、垂直アーティファクトが存在する状態
- Grade 3：ダイナミック（動的）なエアブロンコグラムを伴い、肺の再含気化の増加が見られるコンソリデーション（病変周囲から正常な空気が入り込み、縮小し始めている状態）

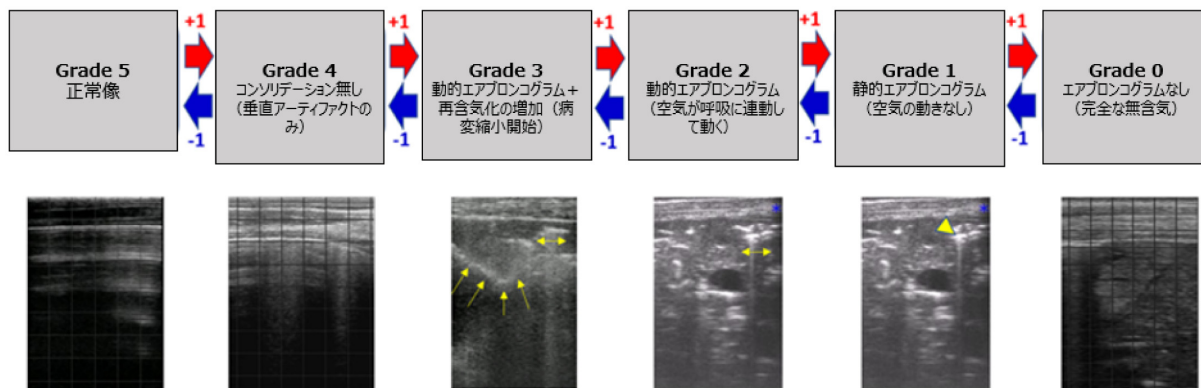


図4 治療過程における肺エコー動態の経時的変化（文献[2]のFigure 4より引用・改変）

提案されている肺超音波所見の時間的尺度は、患者の反応をモニタリングするために使用される。それぞれの段階の増減は、治療後のタイムリーな反応を客観的に確認するために有用である可能性がある。エアブロンコグラムは、気管支内の高エコー領域およびシャドウアーティファクトとして観察され、呼吸に伴う動きがあるもの（ダイナミック/動的：両向き矢印）と、ないもの（スタティック/静的：単一の矢頭）がある。

グレード3の矢印は、肺コンソリデーションの境界（限界域）を示している。グレード2の両向き矢印は、ダイナミック・エアブロンコグラム（動きが存在する）を示している。グレード1の矢頭は、スタティック・エアブロンコグラム（動きなし）を示している。アスタリスク（星印）は胸部の腹側を示す。

牛におけるその臨床的重要性はまだ調査されていない。

- Grade 2：ダイナミック（動的）なエアブロンコグラムを伴うコンソリデーション（気管支内の空気が呼吸に連動して動く状態）
- Grade 1：スタティック（静的）なエアブロンコグラムを伴うコンソリデーション（気管支内にわずかに空気が入るが、呼吸に連動して動かない状態）
- Grade 0：エアブロンコグラムを伴わないコンソリデーション（気管支内が完全に滲出液等で埋まり空気が存在しない重度な状態）。

この分類によれば、重度なコンソリデーション（Grade 3および2）内部に観察される動的な動きは、炎症が進行中である活動性のサイン（本稿における第2相）である。しかし、治療や免疫応答によって病変が局所化・線維化に向かうと、エアブロンコグラムは呼吸に連動しない静的な状態（Grade 1）へと変化し、やがて消失する（Grade 0）。この動的から静的への移行こそが、肺が完全に再含気化するのに先立って現れる、治療および病変の非活動化を示す極めて重要な指標となる²⁾。血流の乏しい癒痕病変に漫然と抗菌薬を投与しても内部の細菌を完全に叩くことはできず、再発予防の担保にはならない。したがって、エコー上の残存病変があっても、この

静的なサインの確認をもって治療を終了（休薬）する。同時に、再発のリスクを抑えるため、休薬後はストレス要因を徹底して排除し、慎重な経過観察へ移行することが不可欠である。

第4相：広範な不可逆性病変期

- ・病態生理：空間的進行が広範囲に及び、重度の壊死、膿瘍形成、胸膜癒着を引き起こした終末像。健常肺の喪失により必要な換気量を維持できず、全身性の代償不全に陥る。
- ・臨床症状：慢性的な消瘦、代償不全による激しい呼吸促迫（腹式呼吸）、発育不良。
- ・超音波画像動態：肺の前葉から後葉にまで波及するコンソリデーション、厚い被膜を伴う巨大な肺膿瘍、広範囲でのラングスライディング消失。
- ・臨床判断：前葉や中葉の一部が線維化（第3相）していても呼吸を代償できれば飼養は可能だが、後葉を含む広範な不可逆的破壊は予後が不良なことが多い。特に、安静時の呼吸数が持続的に上昇し、努力性呼吸を呈するような生理的代償限界を超えた症例については、早期淘汰も考慮する。

【結 語】

牛の臨床現場において、肺エコーは現在普及過程にある。本稿で提示したアプローチが、「いつ治療を開始し、いつ休薬すべきか」という臨床的ジレンマの解消に寄与し、適切な治療管理とAMR対策の両立に資する一助となれば幸いである。一方、本手法を実際の生産現場へ適用するためには、手技の標準化、エコー機器ごとの描出能の限界、さらに検査に伴う時間的コストと経済的メリットのバランスといった現場特有の課題を克服する必要がある。加えて、現時点では牛特有の肺病変の動態評価に関するエビデンスは十分とは言えない。本稿で提示した枠組みをより実践的かつ汎用性の高い臨床指標へと昇華させるためには、日常診療に基づく症例の集積と、牛を対象としたさらなるエビデンスの蓄積が不可欠である。本稿が、現場の臨床獣医師との議論を促し、牛呼吸器病診療における新たな標準の構築に寄与することを期待する。

【引用文献】

- 1) Cuevas-Gómez I, McGee M, Sánchez JM, O'Riordan E, Byrne N, McDaneld T, Earley B : Association between clinical respiratory signs, lung lesions detected by thoracic ultrasonography and growth performance in pre-weaned dairy calves, *Ir Vet J*, 74, 7 (2021)
- 2) Buczinski S, Ollivett TL, Pardon B : Invited review: Lung ultrasonography-improving our understanding and management of respiratory disease in young calves, *J Dairy Sci*, 108, 12903-12923 (2025)
- 3) Mulka KR, Gruenwald RC, Yang TS, Caswell JL : Microscopic anatomy of the lungs of domestic animals, mice, and rats, *J Vet Diagn Invest*, 10406387251413159 (2026)
- 4) Kuru T, Lynch JP 3rd : Nonresolving or slowly resolving pneumonia, *Clin Chest Med*, 20, 623-651 (1999)
- 5) Babkine M, Blond L : Ultrasonography of the bovine respiratory system and its practical application, *Vet Clin North Am Food Anim Pract*, 25, 633-649 (2009)
- 6) Porter MM, McDonald PO, Slate JR, Kreuder AJ, McGill JL : Use of thoracic ultrasonography to improve disease detection in experimental BRD infection, *Front Vet Sci*, 8, 763972 (2021)
- 7) Lichtenstein DA, Mezière GA : Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol, *Chest*, 134, 117-125 (2008)
- 8) Cramer MC, Ollivett TL : Growth of preweaned, group-housed dairy calves diagnosed with respiratory disease using clinical respiratory scoring and thoracic ultrasound-A cohort study, *J Dairy Sci*, 102, 4322-4331 (2019)
- 9) Mahmoud AE, Fathy A, Ahmed EA, Ali AO, Abdelaal AM, El-Maghraby MM : Ultrasonographic diagnosis of clinical and subclinical bovine respiratory disease in Holstein calves, *Vet World*, 15, 1932-1942 (2022)
- 10) Lichtenstein D, Mezière G, Seitz J : The dynamic air bronchogram. A lung ultrasound sign of alveolar consolidation ruling out atelectasis, *Chest*, 135, 1421-1425 (2009)