

話題の感染症 (人と動物の共通感染症)

炭疽 ～ワンヘルスアプローチ的視点からみて～

Anthrax: Insights from a One Health Approach

か く こう き
加 來 浩 器
Koki KAKU

はじめに

炭疽 (Anthrax) は、芽胞形成性グラム陽性桿菌 *Bacillus anthracis* によって引き起こされる人獣共通感染症である。古代エジプトやローマ時代の記録に遡る最古の感染症の一つであり、畜産業と深くかかわってきた。近代では、皮革・毛皮産業や羊毛工業に関連した職業病として知られ、労働衛生上の課題となった。炭疽菌芽胞は、土壌や水環境中で長期間生存するため、家畜や野生動物を介してヒトへ伝播し、感染動態には動物-ヒト-環境が密接に関与する。こうした性質は自然感染症としての重要性のみならず、生物兵器やバイオテロの脅威としても注目されてきた。近年は、地球温暖化に伴う永久凍土融解や降雨パターンの変化により流行地域の拡大が報告され、新たなリスク要因となっている。したがって炭疽は、古典的感染症としての理解にとどまらず、危機管理感染症やワンヘルスの視点から理解すべき疾患である。本総説では、炭疽の微生物学的特徴、感染サイクル、臨床的側面、歴史的背景、世界的な発生状況、国内での発生状況、危機対応医薬品 (MCM) 戦略との関連について概説する。

I. 微生物学的特徴

炭疽菌は、3～5 μ m の大型グラム陽性桿菌であり、連鎖状を呈する。生体内では単独または短い連鎖状の栄養型 (vegetative form) として存在し、これが増殖および毒素産生の主体となり、宿

主に病原性を示す形態である。栄養型は培養環境下で長い連鎖状となり、その菌体内には中央近傍に約1 μ m の芽胞 (内生孢子: endospore) が形成される。栄養型が成熟すると、芽胞は菌体外に放出され、外界で独立した芽胞 (spore) として存在する。芽胞は酸素環境下で形成され、乾燥・熱・紫外線・消毒薬に極めて高い抵抗性を示し、土壌中で数十年以上生存可能である¹⁾。土壌中の芽胞は洪水や長雨などで条件が整うと発芽し、再び栄養型へと転換して増殖を開始する。このため、汚染地域は長期にわたり感染源として残存する。この芽胞が、動物やヒトへの感染形態であり、体内で発芽して栄養型へと移行することで病原性が発揮される。

炭疽菌の病原性は二つのプラスミドに依存する。

- 毒素プラスミド (pXO1) : 防御抗原 (PA : Protective antigen)、浮腫因子 (EF : Edema factor)、致死因子 (LF : Lethal factor) をコードしている。栄養型が増殖する際に、PA と EF との結合により浮腫毒素 (ET : Edema toxin)、PA と LF の結合により致死毒素 (LT : Lethal toxin) が生成される (図1)²⁾。
- 莢膜プラスミド (pXO2) : ポリ-D-グルタミン酸からなる莢膜をコードし、マクロファージによる貪食からの回避に重要な役割を担っている³⁾。

両プラスミドが揃うことで高病原性が発揮されるが、いずれかを欠損すると病原性は著しく低下する。動物用のワクチン株 (Stern 株) は、毒素は産生するが、pXO2 を欠損しており、莢膜形成能を欠くため病原性が低い。

Ⅱ. 炭疽の感染サイクル

炭疽は、芽胞形成により動物・環境・ヒトの間を循環しており⁴⁾、まさにワンヘルス関連感染症の典型例である(図2)⁴⁾。

1. 動物での発症と栄養型の放出

草食動物に感染した炭疽菌は、リンパ節や脾臓で増殖する。終末期には血中に大量の栄養型の菌が放出され、死亡すると鼻や口、肛門などから出血を伴い、大量の菌が体外に排出される(図2右側)。

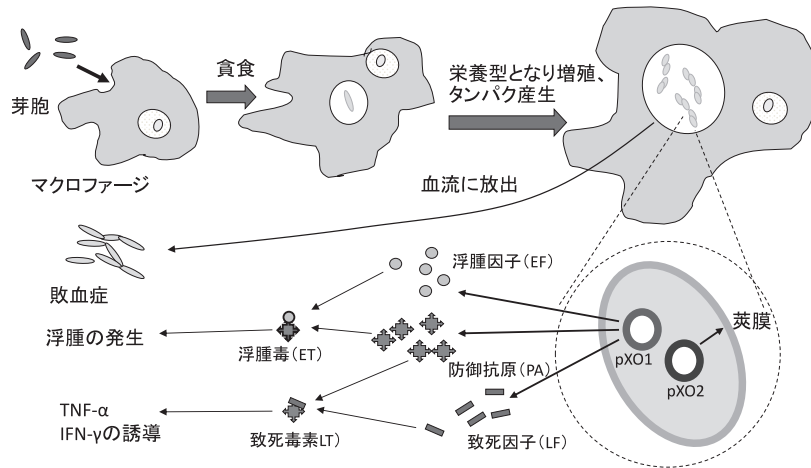


図1 炭疽菌の毒素産生のメカニズム

1) 芽胞がマクロファージに貪食されると、細胞内で栄養型となり発芽・増殖し始める。2) pXO1は、浮腫因子 (Edema Factor : EF)、防御抗原 (Protective Antigen : PA)、致死因子 (Lethal Factor : LF) の遺伝子をコードしており、EFとPAの結合で浮腫毒素、LFとPAの結合で致死毒素が形成される。3) pXO2は、莢膜の合成に関わる遺伝子をコードしている。

文献2)を参考に著者より作成

(図1は巻末カラーで掲載しています)

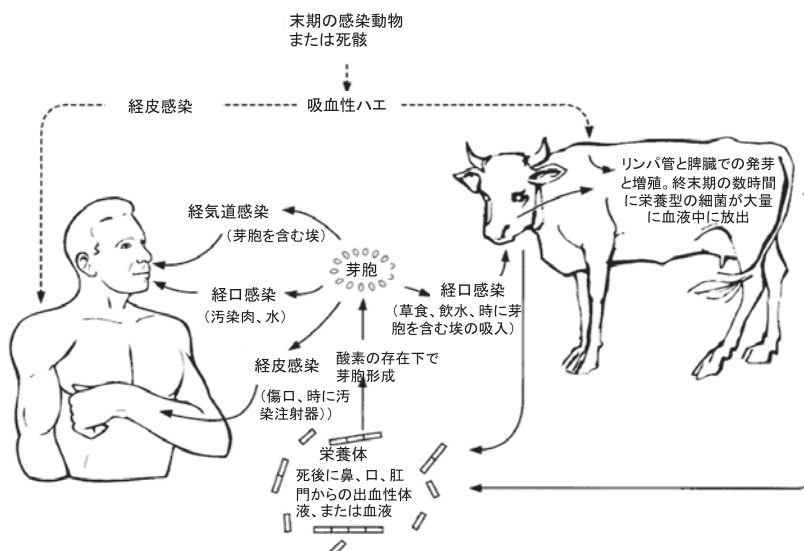


図2 炭疽の感染サイクル

出典：WHO, Anthrax in humans and animals, 4th edition, 2008. Fig.1 Cycle of infection in anthrax. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241547536>

文献4)を基に一部改変

2. 芽胞形成と環境残存

栄養型は酸素存在下で芽胞を形成し、土壌や水中で長期間環境中に生存可能となる。これが牧草地や水源を汚染し、次の宿主への感染源となる（図2中央下）。

3. ヒトへの感染

ヒトへは、以下の経路で芽胞に曝露される（図2左）。

- 経気道感染：芽胞を含む埃やエアロゾルを吸入し、肺炭疽を生じる。
- 経口感染：芽胞に汚染された肉や水を摂取し、腸炭疽を発症する。
- 経皮感染：傷口から芽胞が侵入し、皮膚炭疽を引き起こす。汚染された注射器によって体内に直接芽胞が注入されることがある。
- 媒介昆虫による伝播：吸血性ハエなどが芽胞を機械的に媒介し、皮膚炭疽を起こすことがある。

4. 感染サイクルと公衆衛生的意義

環境中の芽胞→動物感染→発症・死亡→芽胞形成→環境汚染→新たな動物・ヒトへの感染、というサイクルが繰り返される。このため炭疽の制御には、動物死体の適正処理、牧草地の消毒・封鎖、家畜へのワクチン接種が必須である。また、この感染サイクルは、人の感染が動物流行の二次的の結果であることを示しており、制御にはワンヘルスの視点が不可欠である。

Ⅲ. 炭疽の臨床的側面

1. 臨床像

炭疽は、感染経路により以下の臨床型に分類されるが⁵⁾、最も多いのは皮膚炭疽であり、全体の95～98%を占める⁶⁾。食中毒では腸炭疽、芽胞を吸入するような皮革製品等との接触やバイオテロでは吸入炭疽、静脈注射常用者で注射炭疽が起こり得るが、いずれも菌血症を呈して重症化した場合には、髄膜炭疽の病態に至る⁷⁾。

- **皮膚炭疽**：世界的に最も多い臨床型であり、1～7日の潜伏期の後に、掻痒感を伴う紅斑や丘疹で始まり、やがて水疱形成する。次第に中央部が壊死し、無痛性の黒色痂皮（eschar）を形成。周囲に著明な浮腫を伴うが、膿瘍は形成しにくい。約80%は自然関係するが、2次感染がおこると化膿、疼痛、発熱、リンパ節腫脹が出現することがある、抗菌薬が使用されない場合の致死率は5～20%といわれている。後述するように、近年、国内で経験した事例は2次感染がおこった事例であった。
- **腸炭疽**：2～5日の潜伏期後に悪心、嘔吐、食欲不振で発症し、発熱、腹痛、吐血、下痢（時に血性下痢）を起こす。腸病変部は、回盲下部及び盲腸に多い。致死率は20～60%に達する。
- **吸入炭疽**：1～7日の潜伏期の後に、軽度の発熱、倦怠感などの非特異的的症状ではじまり、数日後には急速に呼吸困難、喘鳴、チアノーゼ、ショックを呈する。敗血症に進展することが多く、致死率は40～85%と高い。胸部X線やCTでは縦郭拡大の所見がみられる。
- **注射炭疽**：皮下注射部位から芽胞が侵入するが、皮膚炭疽のような黒色痂皮は形成されず、広範囲に軟部組織壊死・蜂窩織炎様病変が生じる。菌血症を伴いやすく発熱、ショック、意識障害を伴う。死亡率30%以上とされる。
- **髄膜炭疽**：通常は、原発巣から二次的に菌血症をきたし中枢神経系へ播種することで発症するが、まれに初感染で発症することがある。突然の発熱、頭痛、意識障害、嘔吐、痙攣、項部硬直や光過敏などの髄膜刺激症状が起こる。進行が早く数時間から1日以内で重症化し、極めて予後不良である。

2. 診断

診断には、臨床像の把握に加えて以下の検査を行う⁸⁾。

- 病原部検体の塗抹・培養による菌の照明
- PCRによる毒素・荚膜遺伝子の検出
- ELISAによる炭疽毒素に対する抗体価測定
- 吸入炭疽では胸部レントゲンや胸部CTによる画像診断

日本では極めて稀な疾患であり、自然発生はほぼ終息しているため、患者が出現した場合には自然感染よりは、人為的感染（バイオテロ、注射炭疽、病原体漏れ事故など）の可能性を常に考慮すべきである。診断を疑った段階で速やかに保健所へ相談し、行政機関や専門機関と連携することが重要である。

3. 治療

炭疽の治療の基本は抗菌薬であり、ペニシリン、シプロフロキサシン、ドキシサイクリンが標準的に使用される。早期に投与すれば予後は良好であるが、吸入炭疽など重症例では、支持療法と併せて集中治療管理が必要となる。

IV. 炭疽を理解するうえで必要な歴史的背景

炭疽は、古代から家畜を通じて人類と関わってきた。旧約聖書の『出エジプト記』、「第五の災い」では、馬、ろば、らくだ、牛、羊が一斉に倒れる疫病が記されており、炭疽を想起させる記述とされ、古代エジプトのパピルス文書や壁画にも家畜の突然死や潰瘍病変が描写されている。ローマ時代にも同様の疫病の記録が残っている。これらは、炭疽が古代文明の畜産経済に深刻な影響を与えていたことを示唆する。

19世紀の産業革命期には、ヨーロッパで羊毛産業が発展し、英国ブラッドフォードなどの羊毛加工地域では、吸入炭疽による多数の死者が報告された。これは「羊毛選別工病（wool sorter's disease）」と呼ばれ、労働衛生上の重要な課題となった⁹⁾。

1876年、ドイツのロベルト・コッホは、牛の脾臓から炭疽菌を分離し、動物実験で病原体が特定の疾患を引き起こすことを証明した。この研究は「コッホの原則」として体系化され、後の結核菌・コレラ菌の発見へとつながり、近代細菌学の出発点となった。フランスのルイ・パスツールは、コッホの研究を基盤に炭疽菌ワクチンの開発を進め、1881年にプイール・フォルで公開実験を行い、ワクチン接種の有効性を証明した。そして次の狂犬病ワクチンの開発につながっていった。

20世紀以降、抗菌薬の登場により炭疽は治療可能な疾患となったが、芽胞の環境耐性と感染力か

ら各国で「生物兵器」としての開発が進められた。第二次世界大戦時には英国、ドイツ、日本が研究を行い、冷戦期には米国、ソ連で大規模な開発が続いた。1979年にはソ連のスヴェルドロフスクにおいて、生物兵器製造施設からの漏出事故が発生した。

日本では、1993年、オウム真理教は自施設から炭疽菌を散布したが、使用されたのはワクチン株（Sterne株）であり被害は生じなかった。この事実は後の裁判の過程で明らかにされた。その後、2001年には米国で郵送炭疽事件が発生し、22名が感染、5名が死亡した。これを契機に、世界各地で「白い粉」を用いた模倣事件が相次ぎ、日本でも2003年以降、感染症法の改正や国民保護法の制定など整備進んだ。

近年では2016年、ケニアで炭疽菌を用いたテロ計画容疑で逮捕者が出るなど、現在も潜在的な脅威として認識されている。さらに2010年以降、英国やドイツ、デンマークなどヨーロッパの複数の国で、ヘロイン使用者に注射炭疽[injectional anthrax]が発生した。英国では、2010年に計28例が確認され、欧州疾病予防管理センター（ECDC）はこれを「新たな曝露形態」と位置づけ、薬物乱用対策や公衆衛生監視の強化が求められている¹⁰⁾。

このように、炭疽菌は古代から現代に至るまで「家畜の疫病」、「人獣共通感染症」「微生物学の出発点」、「生物剤」、「薬物乱用による注射炭疽」として人類史に刻まれてきている。

V. 現在の世界的な発生状況

炭疽は世界各地に分布するが、とくに「炭疽ベルト（anthrax belt）」と呼ばれる地域で繰り返し発生している。炭疽ベルトとは、炭疽菌芽胞が土壤中で長期間生存し、家畜や野生動物を介して周期的に流行が生じる地域を指す。芽胞は、数十年から100年以上も環境中に残存可能であり、特定の気候、土壤環境、牧畜形態、衛生管理の条件が揃うと「汚染牧草地」や「感染スポット」が形成されるようになる（表1）²⁾。

炭疽ベルトは以下に分布している（図3）¹¹⁾。

- サブサハラアフリカ：エチオピア、タンザニア、ザンビア、ジンバブエ、南アフリカなど
- 地中海・中東・アジア：スペイン、イタリア、

表1 炭疽ベルトに共通する条件

| | |
|------|--------------------------------|
| 気象 | 雨季と乾季が明瞭に区別される乾燥または半乾燥地域 |
| 土壌 | アルカリ性、石灰質、排水不良で、湿潤と乾燥が繰り返される環境 |
| 牧畜形態 | 遊牧・半遊牧による放牧が行われ、野生動物と家畜が混在している |
| 衛生管理 | 死畜の埋没や焼却が不十分で、芽胞が環境に長期残存可能な状態 |



図3 世界の家畜・野生動物における炭疽発生地域

文献 11) を参考に著者より作成

(図3 は巻末カラーで掲載しています)

トルコ、パキスタン、インド、バングラデシュ、ミャンマーなど

- 南米：ペルー、ボリビア、ブラジル北東部
- 旧ソ連圏：ジョージア、アルメニアなど

動物死体が水系を汚染すると、草食動物だけでなく人や他の哺乳類も曝露される。特に乾季や干ばつ時には水源が限られるため、リスクが増大する。このように炭疽は、生態系全体に影響を及ぼすワンヘルスの課題である。さらに近年は、気候変動や土地利用の変化により、炭疽ベルトの境界が動的に変化している。2016年のロシアのヤマル半島では、永久凍土融解に伴い、炭疽芽胞が再活性化し、90名の地域住民が入院し、1名の子供が死亡した¹²⁾¹³⁾。これらの事実は、炭疽を固定的な風土病ではなく、気候変動と環境改変に伴い流行域が変動する感染症として捉える必要性を示している。

VI. 国内での発生状況

戦前の日本では、牛や馬などで年間100頭を超

える炭疽が発生していた。戦後は、輸入骨肉粉を介した家畜炭疽が疑われたが、家畜伝染病予防法の整備、ワクチン接種の普及、屠畜場における衛生管理強化、死体の適正処理の徹底により、発生は急速に減少した。最後の家畜感染例は、2000年の宮崎県の牛2頭である(2026年1月現在)。

ヒトでは、戦前には家畜関連の散発例が報告されており、多くは皮膚炭疽であった。

1960年以降の代表的な事例としては、1965年に岩手県滝沢村での乳牛炭疽に関連した皮膚・腸炭疽をあげることができる(図4)。現場で治療にあたった土屋邦彦医師の記録によれば、病変は大豆大から拇指頭大の黒色痂皮で、手指および前腕部に1~2個出現し、強い疼痛を伴っていた。なかには肘や腋窩部のリンパ節腫脹を呈する例もみられた¹⁴⁾。当時の岩手医科大学細菌学教室(田澤芳三郎教授、川名林治助教授ら)の調査では、土壌から炭疽菌芽胞が分離され、感染牛の死体処理の不備が牧草地の長期汚染を招いたこと、病死牛を解体した精肉業者に皮膚炭疽が、汚染肉を喫食した住民に

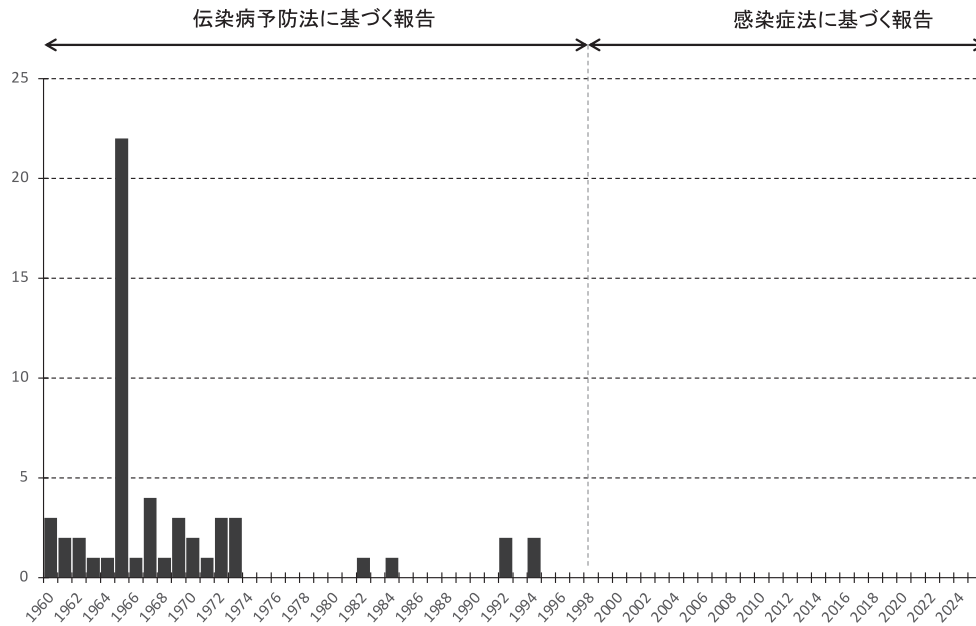


図4 国内でのヒトの炭疽報告例の推移

三重県感染症情報センター及び国立感染症研究所ホームページのデータを基に作成

腸炭疽が発生したことが明らかになった¹⁵⁾。当時の新聞は、炭疽患者を305名と報じたが、伝染病予防法に基づく公式届け出は22名にとどまっている。この乖離は、新聞が消化器症状を呈した住民を広く「患者」として扱ったのに対して、公式統計には臨床的または細菌学的に確認された症例のみが反映されたためと解釈される。この事例は、以降の国内における家畜防疫強化（死体の完全焼却処理、汚染牧草地の封鎖や消毒など）を促し、炭疽撲滅に大きく寄与した。

その後、国内報告は以下の通りで、いずれも皮膚炭疽であった。

- 1982年に1例（宮崎県）
- 1984年に1例（茨城県）
- 1992年に2例（大阪府、沖縄県）
- 1994年に2例（宮城県、東京都）

1994年の宮城県での症例は、農業従事者の63歳男性で、頭頂部に黒色痂皮を呈した。家畜との接触はなく、農作業を通じた土壌曝露が感染経路として疑われた。本症例の特徴は、糸状菌との混合感染がみられた点である。強い掻痒感を伴い、抗白癬剤の投与によって症状の一部が改善した。患者の顔色が黒く日焼けしていたため、黒色痂皮が臨床的に認識されるまでに時間を要し、診断の遅

れを招いた¹⁶⁾。本事例は、国内でのヒト炭疽の最終報告例（2025年9月現在）であり、監視体制と迅速診断の重要性が再認識させられた事例である。

VII. 国内関連法規での取り扱い

炭疽は、感染症法において四類感染症に規定されている。患者（確定例）および無症状病原体保有者を診断した医師、ならびに感染症死亡者（疑い例を含む）の死体を検索した医師は、直ちに最寄りの保健所長を通じて都道府県知事に届け出なければならない。

ただし、2001年10月に米国で炭疽菌によるバイオテロ事案が発生した際、同年10月11日に厚生労働省健康局結核感染症課から通知が発出され、都道府県等の感染症対策担当者は、管内の感染症指定医療機関に対し、感染症法の規定にかかわらず、炭疽が疑われる感染者を診察した場合であっても直ちに最寄りの保健所に届け出るとともに、国立感染症研究所へ相談および情報提供を行うよう求められた¹⁷⁾。

また、病原体としての炭疽菌は「二種病原体等」に分類されており、この病原体を保持しようとする者は、厚生労働大臣の許可を受けることが義務

付けられている。

Ⅷ. 重点感染症としての危機対応医薬品 (MCM)の検討

日本では、生物テロや輸入症例に備え、炭疽を「重点感染症」の一つに位置づけ、危機対応医薬品(MCM: Medical Countermeasures)の整備が進められている。現在、抗毒素製剤は、国内未承認であるが緊急時の活用を見据えて、導入・備蓄・配備体制(入手経路、保管・更新、配分手順、訓練)の検討が進められている¹⁸⁾。MCMは抗菌薬に“上乗せ”して効果を発揮する位置づけであり、抗菌薬治療の早期開始が前提となる。

米国では、吸入炭疽対策として以下の抗毒素製剤が導入済みである。

- Raxibacumab[®]
(モノクローナル抗体、2012年FDA承認)
- Obiltoxaximab[®] (Anthim)
(モノクローナル抗体、2016年FDA承認)
- Anthrasil[®]
(ヒト免疫グロブリン製剤、2015年FDA承認)

これらはいずれも毒素因子の一つである防御抗原(PA)に結合し、中和することで毒素活性を阻害する。特に吸入炭疽で抗菌薬と併用することで、生存率が大幅に改善することが示されている。

おわりに

炭疽は、国内では臨床的に遭遇する可能性は極めて低いが、国際的には「再興感染症」であり、バイオテロの潜在的脅威でもある。気候変動に伴うリスク拡大、国際貿易や観光に伴う輸入感染症の可能性も無視できない。日本における長年における炭疽発生0(ゼロ)の経験は、環境から芽胞を完全に排除することは困難でも、家畜管理や衛生管理を通じて芽胞供給サイクルを遮断すれば長期的な制御が可能であることを示している。日本におけるMCM戦略は、2001年米国炭疽事件後に議論が始まったが、西アフリカでのエボラ出血熱流行やCOVID-19を契機によりやがて国家戦略として体系化された。今後は、炭疽を含む高病原体感染症への備えをMCMの枠組みに統合させて、国際共同研究やサーベイラ

ンスの強化を進めることが求められであろう。

文 献

- 1) 小橋修：炭疽菌とバシラス属の細菌、戸田新細菌学(32版)、南山堂、p589-593、2002。
- 2) 加來浩器、岡部信彦：バイオテロとワクチン、化学療法の領域、Vol.19 No.7 p68-75、2003。
- 3) Dixon TC, et al. Anthrax. N Engl J Med.1999; 341: 815-826
- 4) WHO. Anthrax in humans and animals, 4th edition, Geneva, WHO, 2008.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241547536>
- 5) 日本感染症学会「感染症クイックリファレンス：炭疽」
<https://www.kansensho.or.jp/ref/d44.html>
- 6) 厚生労働省. 19.炭疽, 感染症法に基づく医師及び獣医師の届出について.
<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kekkaku-kansenshou11/01-04-17.html>
- 7) 加來浩器. F. 炭疽 2 グラム陽性桿菌感染症.; 感染症専門医テキスト第1部解説編, 南江堂, 955-958, 2011.
- 8) 東京都.(19)炭疽…四類感染症, 東京都感染症対策マニュアル. 190-191.
<https://idsc.tmph.metro.tokyo.lg.jp/assets/survey/kobetsu/j1028.pdf>
- 9) Laforce, F. M. "Woolsorters' Disease in England." *Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 54(10), 956-963, 1978.
- 10) Booth MG, Hood J, Brooks TJ, Hart A. *Anthrax infection in drug users. Lancet*. 2010; 375(9723): 1345-1346.
- 11) 国立健康危機管理研究機構 感染症情報提供サイト 炭疽(詳細版)(2024年1月26日一部修正)
https://id-info.jihs.go.jp/diseases/ta/anthrax/010/index.html?utm_source=chatgpt.com
- 12) Elena A Liskova, Irina Y Egorova, Yuri O Selyaninov et al. Reindeer Anthrax in the Russian Arctic, 2016: Climatic Determinants of the Outbreak and Vaccination Effectiveness; 2021, *Front Vet Sci*. 2021 Jun 24;8:668420. doi: 10.3389/fvets.2021.668420
- 13) Ekaterina Ezhova, Dmitry Orlov, Elli Suhonen et al. Climatic Factors Influencing the Anthrax Outbreak of 2016 in Siberia, Russia; 2021, 18(2):217-228.
- 14) 土谷邦彦, 炭疽の臨床的研究岩手県西根地区の炭疽をめぐって, 伝染病学誌; 1966; 40(4):91-100.
- 15) 川名林治. 炭疽菌感染症～私どもの経験を中心にして～, 感染症学誌; 2002; 76(1):1-8.
- 16) 名取徳彦、小松真由美. 皮膚炭疽の一例, 臨床と研究; 1994; 71(10):123-125.
- 17) 厚生労働省. 事務連絡 国内における生物テロ事件発生を想定した対応について、平成13年10月11日
<https://www.mhlw.go.jp/houdou/0110/h1011-6.html>
- 18) 厚生労働省. 2025年5月9日 第63回医療上の必要性の高い未承認薬・適応外薬検討会議議事録.
https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000205197_00030.html?utm_source=chatgpt.com

話題の感染症（人と動物の共通感染症）
炭疽 ～ワンヘルスアプローチ的視点からみて～ 加來浩器

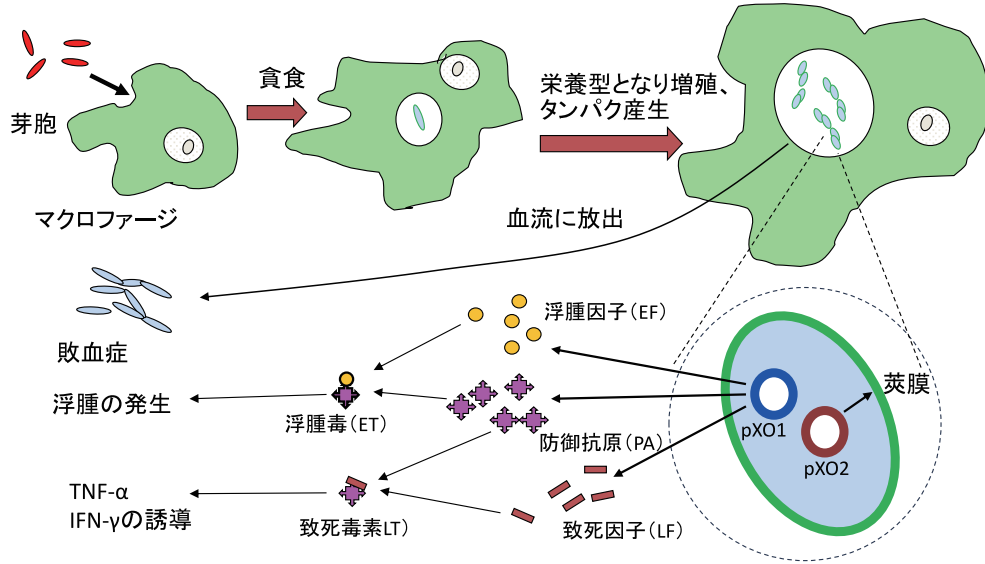


図1 炭疽菌の毒素産生のメカニズム

1) 芽胞がマクロファージに貪食されると、細胞内で栄養型となり発芽・増殖し始める。2) pXO1は、浮腫因子 (Edema Factor : EF)、防御抗原 (Protective Antigen : PA)、致死因子 (Lethal Factor : LF) の遺伝子をコードしており、EFとPAの結合で浮腫毒素、LFとPAの結合で致死毒素が形成される。3) pXO2は、莢膜の合成に関わる遺伝子をコードしている。

文献2) を参考に著者より作成

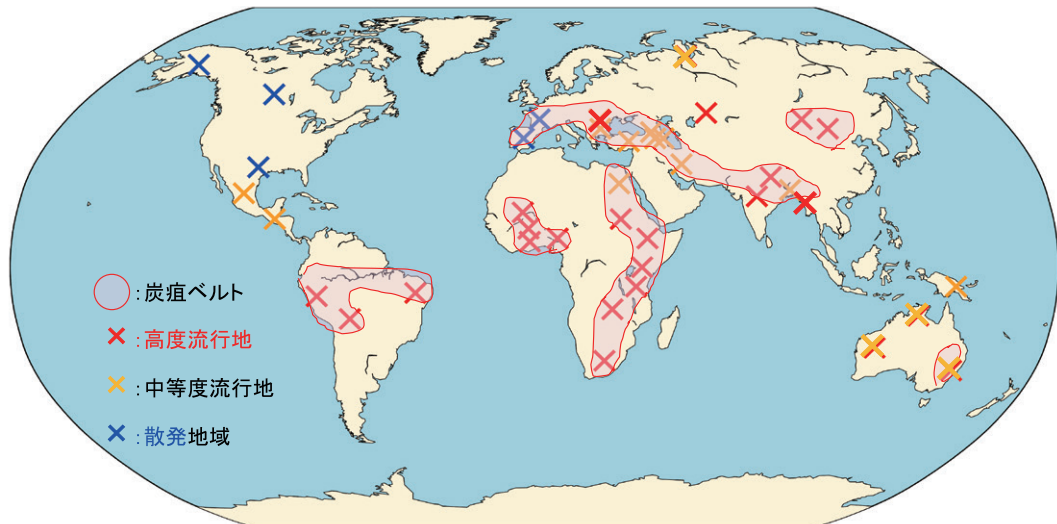


図3 世界の家畜・野生動物における炭疽発生地域

文献11) を参考に著者より作成