

日本法獣医学会
令和8年度 法獣医学研修会

法昆虫学と法微生物学

日本獣医生命科学大学
野生動物学研究室
木原友子

本講義の内容

1. 法昆虫学とは
2. 死体現象
3. 死後変化と昆虫
4. ネグレクトと昆虫
5. 法微生物学とは
6. 法微生物学の活用例
7. ネグレクトと微生物

2

法昆虫学とは

法昆虫学 Forensic entomology

- 定義：法的事項に関する結論を導き出すために昆虫の証拠を分析する学問
- 目的：最小死後経過時間（PMI min）、昆虫が最初に遺体に定着してからの時間を推定する
- 方法：死体に付着し、蚕食する昆虫種・生活環・昆虫相を分析する
- 応用例：遺体の移動、犯行現場の改変、個人識別、死亡者の生前の薬物摂取の重要な手がかりを提供する

Lena Lutz, et al., International Journal of Legal Medicine (2021)

死体現象

死体現象

- 死直後から始まる体に起こる全ての物理的、化学的、生物学的変化
- 死体を取り巻く環境条件や死体そのものの条件により複雑に影響される

■死後経過時間の推定

- 死体現象の発現状態、発見された周囲状況等を総合的に判断する
- 可能なかぎり多くの死体現象を正確に観察する
- ある程度幅をもたせて推定する

早期死体現象

- 死直後から死後比較的早期に出現してくる変化
- ① 死体の冷却
- ② 角膜の混濁
- ③ 体表の乾燥
- ④ 血液就下・死斑
- ⑤ 死体硬直

死体の冷却・体温降下

- 死体の温度が死後経過時間とともに生前の体温よりも低下する現象
- 死体温の測定
→ 棒状の温度計の感熱部を直腸内に5cm以上挿入して直腸温を測定する（皮膚温ではない）
- 動物では人のように、体温降下のプラトーが認められない
- 犬：1時間で平均0.5～0.83℃程度下がるとされる

角膜の混濁

- 死後、角膜は混濁し始め、次第に瞳孔を透見しにくくなる
- 死後数時間：混濁が始まる
- 半日～1日：霞がかかったように全般的に混濁
- 1日半～2日：強い白濁のため瞳孔が透見できなくなる
- 開眼・夏季で早い
- 閉眼・冬季で遅い

角膜の混濁



なし 軽度 中等度 高度

体表の乾燥

- 死後は内部からの水分補給がないため、皮膚、損傷部位、露出粘膜が次第に乾燥する
- 舌先・口唇の乾燥・硬化・暗色変色：死後3日程度
- 陰囊・四肢の指球の乾燥・硬化：死後3週間程度
- 鼻の乾燥・鼻紋の消失：死後3週間程度

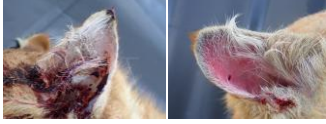
死斑・血液就下

- 血液就下：血液循環が停止すると、血管内の血液が重力に従い身体下面の毛細血管に沈下・集合する現象
- 死斑：血液就下が外表から認められるもの
死後に軟部組織に認める紫赤色変色のこと
- 色調：還元Hbにより暗紫赤色を呈する
- 発現部位：皮膚、粘膜、腹腔内臓器、胸腔内臓器
- 動物は人ほど著明でない（耳介の皮膚）

対側の耳介には認めない

右耳耳介に認められる淡赤色
変色

ネコ1



ネコ2



死体硬直

- 死亡直後、全身の筋肉の緊張は全くなかった状態となるが、死後時間の経過とともに、筋肉が次第に硬くなり強直してくること

■11～17℃で保管されていた犬のデータ

- 死後1日以下：多くの筋肉で発現し、強くなる
- 死後1～3日：顎・肘・下肢で持続
- 死後7日：顎・下肢で残存、肘で消失

晩期死体現象

- 死体が酵素化学的、微生物学的、化学的、物理的に分解・崩壊されること
- 比較的早い時期から起こる自家融解と腐敗が主な過程
- 最終的に白骨化する

- ① 自家融解
- ② 腐敗
- ③ 死体の損壊
- ④ 白骨化

自家融解

- 細胞のもつ酵素により細胞構成成分が嫌氣的に分解される

- 主にリソソーム内の加水分解酵素による

■肉眼変化

- ヘモグロビンの染着（赤血球の溶血）
- ピンク歯：特に切歯（3週間）
- 胆汁液の変色：緑茶黄（24時間）
→黄赤（2～3日間）→赤褐色（7日間～3週間）
- 胆汁色素の染着
- 胃壁の薄化・胃穿孔（ペプシンによる自己消化）

腐敗

- 腐敗菌の作用により嫌氣的に分解され、芳香族アミンや硫化水素ガス等を生成して無機物の状態へと徐々に変化する過程
- 細菌酵素による還元作用が主
- 不完全分解のためメタンガス、硫化水素、アンモニア、インドール、スカトール等を発生し、悪臭を伴う
- 肉眼変化：腐敗変色、腐敗ガス産生、水疱形成

腐敗

■原因微生物

- 初期：腸内細菌（大腸菌、腸球菌）
- 末期：環境から侵入する細菌（枯草菌、馬鈴薯菌）

■進行速度に影響する因子

- 外的条件：温度、湿度、空気の流れが関係
- 内的条件：失血を伴わない急死で促進
栄養状態良好で速い

腐敗変色

- 硫化Hb、硫化メトHbの形成による
- **下腹部・体幹部の青緑変色**（24～36時間）
- 犬の腹部の緑色変色は顕著
- 栄養不良の犬猫では不明瞭
- 緑色変色は強くなる（～7日間）



腐敗ガス産生

- 硫化水素とインドールが死体特有の腐敗臭を放つ
- 臭気：軽度～中程度（48時間～7日間）
→強い（23日間まで）
- 腸管内→腹腔内→全身の皮下組織→実質臓器内の順にガス産生
- 皮下組織や筋肉内に発生すると皮下気腫を触知
- 眼球・舌の膨らみ、その他軟部組織（60～72時間）
- 膨満により皮膚に傷がつき、表皮がずれて毛髪が欠損
- 口鼻・肛門から赤褐色液が漏出

ガスによる膨満



ミイラ化

- 乾燥しやすく、風通しの良い状況下で、水分が急速に失われ、腐敗の進行が停止した状態のこと
- 皮膚は褐色～暗褐色調で革皮様化
- 体重は著減する
- 動物でも数週間～数ヵ月程度で発生する



死蠟化

- 水中や湿った土中で、空気の流通が悪い状態に置かれ、脂肪が灰白色～黄褐色調で、軟らかいチーズ様から石膏様に硬化する変化のこと



死後変化と昆虫

死後変化のステージと虫の蚕食

■典型的な5段階

- 新鮮期**：膨隆し始めるまで（4～36日間） ←ハエの入植
- 膨隆期**：膨隆開始～膨隆がおさまるまで（3～19日間） ←ハエ個体数増加
- 腐朽期**：膨隆の終わり～死体の乾燥まで（6～183日間） ←マゴツトマス形成
 筋肉の軟化、諸臓器の軟化～泥状化～軟部組織の消失
 骨の露出（白骨化は1/2以下） ←甲虫類の入植
 ミイラ化（3日間～18ヶ月） ←甲虫が乾燥した組織を食べる
- 乾燥期**：死食昆虫のない死体の乾燥（13～27日間）
 白骨化は1/2以上
- 残骨期**：死体は被毛や骨のみとなる ※寒冷期に膨隆期はみられない

腐朽期



（多量の蛆による蚕食）

乾燥期



カッツオブシムシによる蚕食

残骨期



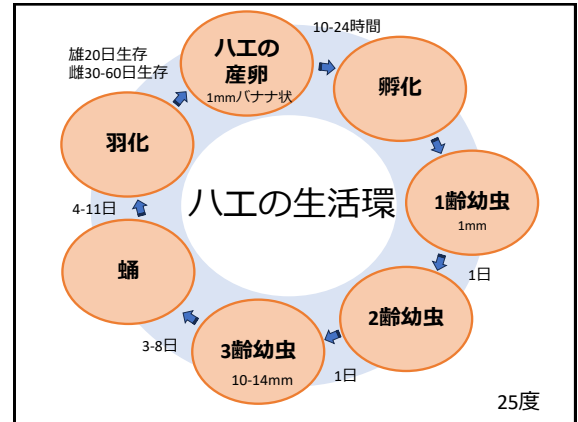
ハエ

- 死臭を好む
- 死後遅くとも30分くらいで死体に蟻集する
- 眼、鼻、口、耳、肛門、陰部等の粘膜部分で湿润しているところに産卵する
- 死体への産卵はキンバ工属が最多
- 産卵後10-24時間で孵化して蛆虫となる

ハエ

- 蛆はタンパク分解酵素等を分泌
- 死体組織を化学的に分解して蚕食する
- 皮下軟部組織⇒皮膚
- 死体の皮膚に多数の小孔が形成されることも
- 毛、爪、骨等の硬組織以外はすべて蚕食される

NEWエッセンシャル法医学



ハエの生活環から死後経過時間の推定

- ハエの成長段階の評価により、死後経過時間を推定する
- ✓ 地方・季節により死体に蟄集する種属が異なる
- ✓ 種属により蛆の大きさは異なる
- ✓ 同一種の蛆でも季節、死体の状態で発育に差がある
- ✓ ハエは何日間かにわたって産卵する
- ✓ 死体に認められる蛆の大きさは一定ではない
- ✓ クロバエ科やニクバエ科では、死後最初の3-4週間のみ経過時間の推定に有効

NEWエッセンシャル法医学 一部改変
Sundus Mona, et al. Forensic Entomology: A Comprehensive Review, 2019.

昆虫の種同定

試料採取

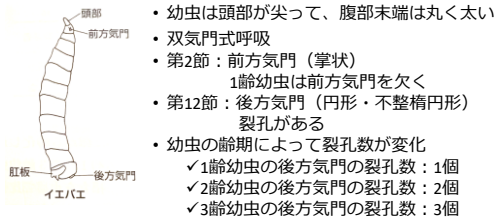
- 死体から昆虫を収集する
- 死体の上に成虫のハエが飛んでいる場合は、網で捕獲する

種同定の方法

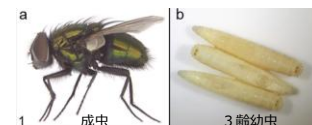
- 蠅蚊などの双翅目の幼虫は、沸騰した湯に浸して殺虫後、96%エタノールで保存し、実体顕微鏡で観察する
- 生きたまま捕獲した幼虫は、実験室の温度管理下で肉を摂取させて成虫になるまで飼育して、成虫を形態学的に評価する（前方気門、後方気門、咽頭骨格等）
- 形態学的特徴に基づく確実な同定が困難な場合は、ミトコンドリア・シトクロムCオキシダーゼ・サブユニットI (coi) 遺伝子解析

⇒専門家に相談

蛆の形態

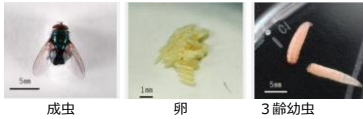


Lucilia sericata ヒロズキンバエ



- ほぼ世界中に分布、クロバエ科、クロバエ亜科に属す
- 成虫は鮮やかな金属光沢のある緑色の体色、体長5～10 mmの小型種
- 幼虫（ウジ）は円筒形で乳白色・黄白色を呈す
- 死体に最初に定着する昆虫群の一つ
- 死体の「新鮮期」に、死後数分～数時間以内に飛来
- 高温や日光を好む、夏季が最盛期、卵～成虫の発育期間は25℃で12.9日（10～15℃未満、37℃以上で発育停止）
- ハエウジ症の原因

今井ら, 図説 獣医衛生動物学 (2014)
Lena Lutz, et al. International Journal of Legal Medicine (2021)

Lucilia illustris ミドリキンバエ

- 日本全土の平地に極めて普通にみられる
- クロバエ科、クロバエ亜科に属す
- 成虫は、金属光沢のある黄緑色の体色の体長6～8 mmの小型種
- 幼虫（ウジ）は円筒形で乳白色を呈す
- 人獣の糞、動物死体、ごみ溜め等を集まる

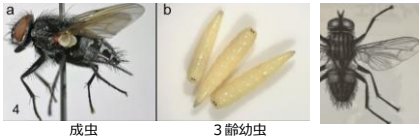
今井ら, 図説 獣医衛生動物学 (2014)
<https://www.city.saitama.lg.jp/sciencenavi/kenkou/003/p086340.html>

Calliphora lata オオクロバエ

※写真は*Calliphora vicina* という別種

- 日本全土にみられる世界共通種
- クロバエ科、クロバエ亜科に属す
- 成虫は、青藍色で金属光沢をもつ種が多く、黒蠅、蒼蠅と呼ばれる
- 体長11～15 mmの大型種、体は丸みを帯び、斜め後方から見ると胸背部が灰白色の粉で覆われている
- 幼虫（ウジ）は円筒形で乳白色、黄白色を呈す
- 低温に適した種、平地では春秋に見られ、夏に姿を消す、成虫越冬する

今井ら, 図説 獣医衛生動物学 (2014)
<https://www.city.saitama.lg.jp/sciencenavi/kenkou/003/p086340.html>

Muscina species イエバエ亜科

- 成虫は体長6mm内外
- 体色は暗褐色～黒灰色、胸背に明らかな4本の同じ長さの黒い縦線をもつ
- 幼虫（ウジ）は円筒形で乳白色・黄白色を呈す
- 卵～成虫の発育には25°Cで12.6日を要す（6.7°C以下で発育停止）
- 埋葬、隠蔽、ネグレクト（放置・虐待）といった特定の状況や、死体の移動を示す指標となり得る

今井ら, 図説 獣医衛生動物学 (2014)
 Lena Lutz, et al. International Journal of Legal Medicine (2021)

甲虫類

Dermestidae カツオブシムシ科

アカオビカツオブシムシ

- 甲虫類：例）カブトムシ、クワガタムシ、カミキリムシ等
- 成虫は特徴的な楕円形、幼虫は長い剛毛で覆われる
- 成虫や幼虫の糞は暗褐色の繊維状で、死体全体を覆うこともある
- 乾燥してミイラ化した死体に定着する
- 夏季より冬季に活動が活発
- ミイラ化等、死後経過時間が長くなる場合に、最小死後経過時間（PMI_{min}）を推定する上で重要

Lena Lutz, et al. International Journal of Legal Medicine (2021)

その他の昆虫

- アリ、ムカデ、ゴキブリ等のその他の昆虫によって死体が損壊されることがある
- アリによる死体皮膚の蚕食後に乾燥すると、生前に受傷した表皮剥脱との鑑別が必要

ネグレクトと昆虫

ネグレクト飼養環境下の昆虫

■生体動物が飼養される飼養環境で認められる衛生昆虫

- 給餌容器：甲虫、ゴキブリ
- 給水容器：蚊の幼虫（ボウフラ）
チョウバエ科の幼虫
- 飼養環境：ゴキブリ、カツオブシムシ、ムカデ、ダニ等

死後変化が進行した死体の 検査意義

- 共食いされていたり、虫の垂食を受けたり、欠損部が多い
- ミイラ化・白骨化していて死因不詳
- 解剖しても意味がない？
- 死後経過時間を推定して、**死体が放置される劣悪な環境であることを証明**する

法微生物学とは

法微生物学 Forensic Microbiology

- 21世紀初頭まで 微生物学は法医学において比較的マイナーな分野
 - ✓ 死後経過時間の推定
 - ✓ 病院関連感染症（院内感染）の診断
 - ✓ 突然死（SD）の原因微生物解析
 - ✓ 性虐待、性的暴行の証明
 - ✓ 法医学的マイクロバイオーム（微生物叢）の応用：個人識別、犯罪現場の特定、溺死診断
 - ✓ ネグレクトの診断

Review Forensic Microbiology: When, Where and How, R. Nodari, et al, microorganism, 2024

死後変化と微生物

■腐敗の原因微生物

- 初期：腸内細菌（大腸菌、腸球菌）
- 末期：環境から侵入する細菌（枯草菌、馬鈴薯菌）

■水カビ

⇒淡水の流水中の水死体に付着

■赤色色素産生細菌（*Bacterium prodigiosum*）・真菌

⇒水中死体、湿潤な地上に放置された死体皮膚・骨表面に赤（紫）色斑

病院関連感染症の診断

■病院内における感染症の集団発生調査

- ・医療訴訟では、医療過誤の可能性、発生した損害、因果関係を評価する必要がある
 - ✓診断・治療の手順が最新の科学的知見に基づいて適切な措置が講じられたこと
 - ✓正しい行動が取られたこと
 - ✓感染症が予見不可能な状況によって引き起こされたこと

を証明する

■アウトブレイク調査

- ・感染性病原体を詳細なカテゴリーに分類
- ・事例と感染源との関連性を立証する

突然死の原因微生物解析

- ・髄膜炎菌
- ・結核 等

⇒膿、血液、髄液を死体試料として培養

⇒死因診断

性暴力、性虐待の証明

- ・性感染症の証明
- ・生体、死体の膣・肛門から綿棒等で試料採取

■性感染症の原因微生物

- ✓梅毒、クラミジア、淋菌（細菌）
- ✓HIV、ヘルペス（ウイルス）
- ✓トリコモナス（原虫）

■動物の性感染症

- ✓交尾を通じた微生物の伝播（例：犬のブルセラ菌、牛のトリコモナス原虫）
- ⇒未治療のネグレクトの証明⇒性虐待・性暴力との関連性

個人・犯罪現場の特定と微生物

- ・ヒトの皮膚には多数の固有の微生物叢が存在、表面に広がる可能性
 - ・DNAと異なり、微生物叢は湿度、温度、紫外線等の環境ストレス耐性がある
 - ・皮膚表面に長期間留まる
- ⇒犯罪現場等の特定の場所への個人の存在を証明
- ・微生物叢は、時間経過、性別・年齢により異なり、結果の解釈には注意を要する

溺死と微生物

- ・珪藻検査が溺死の補助診断法のゴールドスタンダード
- ・細菌検査により溺死と死後の浸漬を鑑別できる可能性
 - ✓溺死者の血液培養により細菌コロニーの形成
 - ✓死後浸漬死体ではみられない
- ・淡水溺死か海水溺死かを区別できる可能性
 - ✓血液・骨髄・肺試料からの *Aeromonas*、*Pseudomonas*、*Shewanella* 属の同定 ⇒ 淡水溺死
 - ✓ *Vibrio*、*Photobacterium*、*Listonella*、*Marinomonas*、*Pseudoalteromonas* 属 ⇒ 海水溺死との関連性

ネグレクトと微生物

多頭飼育崩壊等のネグレクトで認められる感染症

- ・猫の上部呼吸器疾患（URI）
 - ✓カリシウイルス、ヘルペスウイルス、*Mycoplasma* spp, *Bordetella bronchiseptica*, *Chlamydia felis* 等
- ・若齢犬のケンネルコフ
 - ✓パラインフルエンザウイルス、犬アデノウイルス、*Bordetella bronchiseptica*、マイコプラズマ等
- ・皮膚糸状菌症
- ・ノミ・ダニ・シラミ } 外部寄生虫
- ・疥癬、ニキビダニ症 }

➤ 感染・寄生しているだけでなく、発症・蔓延しているのに治療していない、あるいは治療に反応しない場合に、ストレスのかかる不適切な飼養環境が影響している可能性を考慮することが重要

ネグレクトと微生物

多頭飼育崩壊等の飼養環境下に認められる微生物

- 給餌給水容器

✓糞便由来菌：大腸菌、腸球菌⇒糞便の汚染

➢見た目にゴミや藻が浮遊し、濁っている

➢凍っている

➢異臭・悪臭 等

⇒飲水・摂食が可能な水・食餌か否かを**まずは肉眼的に観察**する！

法昆虫学・法微生物学

- 法昆虫学は、死後経過時間の推定に重要
- 代表的なハエや甲虫の観察によって、死後経過時間を推定することが可能
- 法微生物学は、微生物検査によって死因等の診断に貢献する可能性がある
- 多頭飼育崩壊等でよくみられる代表的な感染症があり、これらの蔓延や治療に反応しない場合に、飼養環境の異常を示す重要な徴候である

動物虐待の判断に迷ったら

日本法獣医学会

日本獣医生命科学大学 野生動物学研究室まで
ご相談ください！



日本法獣医学会
お問い合わせ先

お問い合わせ先へのお問い合わせ

お名前

Eメール

電話番号

お問い合わせ内容

日本獣医生命科学大学
野生動物学研究室 疫学班
連絡先：0422-31-4151（代）
平日：10:00～16:00

メールにて24時間365日受付

57