

適応

全ての栄養を利用して付度する

野生のライチョウは(少なくとも繁殖期は)低栄養下状態にあると認識している

たかい抗酸化性を卵にもたらし胚(こども)を守っている

約付度レフチン カロテノイド

飼育下で吸収しやすいカロテノイドを給与した時よりも多い

栄養素補充

腸 善玉菌が補う

適応

全ての栄養を利用して付度する

代謝適 栄養的解釈

代謝的付度レフチン カロテノイド ステロイドH 代謝型VitD タウリン

足りない 養素を

栄養素補充

腸 善玉菌が補う

ライチョウの飼育で最も重要なのは餌の問題です。ただいまの発表を通して、今までのライチョウ飼育の餌の問題点とともに、今後ライチョウ飼育の餌を考える新しい視点を今回は示していただいたようにお聞きしました。ありがとうございました。質問は総まとめのほうでお願いいたします。

## 5 「ニホンライチョウに寄生するアイメリア原虫の生態と病原性」

令和4年10月10日 第20回ライチョウ会議  
長野県駒ヶ根・宮田大会

ニホンライチョウに寄生する  
アイメリア原虫の生態と病原性

大阪公立大学大学院  
獣医学研究科  
獣医免疫学教室 松林 誠

<https://amebio.jp/mozzazu/entry-12187721402.html> <https://yamaback.com/481>

ただ……。

飼育下は、鶏でいくとそんなに悪い数字じゃないですね。実際にサプリメントを使って与えていったときにはかなりいい数字を出しているということになるわけです。

だから、なぜ野生下でこれだけ高くなってしまおうのかというメカニズムについては、ちょっと説明がつかないところがあります。

一方で、先ほどヤンバルクイナにも登場してもらいましたが、これはライチョウの10分の1程度なのです。

暖かいところにはいるけれども、ヤンバルクイナだってそんなにいい環境で卵を産んでいるわけじゃないですから……。

ところが、ヤンバルクイナに関しては、ミミズだとかカタツムリだとか、物すごいタウリンが含まれているものを食べているので、普通の鶏だとかではあまり出てこないタウリンが非常に多いです。実はこれがカロテノイドと同じように卵を守ってくれる作用を持っているということで、だから、この差は、もしかしたら飼育下だと別の卵を守ってくれる成分があって違いが出てきている、野生下はカロテノイドの働きというのが非常に大きい可能性というのが考えられるのではないかなというふうになるわけです。

というところで、付度という話を書いておりますけれども……。

ただ、野生のライチョウというのは低栄養状態にあるぞとお母さんは必ず考えている、これはまず間違いないだろう……。

ただ、抗酸化性に関しては、先ほどお話ししたようにカロテノイドに関して高いのは确实だと、だから飼育下でそれをどうやって再現するのかというよりも、その理由というのをちゃんと解釈して飼育下に生かしていくということがむしろ大事で……。

そのキーになるのが、1つはタウリンという話もしましたが、それ以外に、実はビタミンDなんかというのも生理的に脳レベルで利いて体のいろんなものを調節してくれるというのが分かっております。今後、私たちはそういったことの研究を進めていって域外保全及び野生復帰にぜひ貢献したいと考えております。

以上ですね。

では、私のほうの報告は以上とさせていただきます。

どうもありがとうございました。(拍手)

○座長(中村 浩志) 太田先生、ありがとうございました。

○座長(中村 浩志) では、最後の発表になりますが、大阪府立大学大学院獣医学専攻の松林誠先生による「ニホンライチョウに寄生するアイメリア原虫の生態と病原性」です。よろしくお聞きいたします。

○松林 誠 よろしくお聞きいたします。

大阪公立大学の松林です。

本発表の後半部分は、最新の生データ、未公開データを含んでいますので、この場限りでお願いできたらと思います。申し訳ございません。

それでは発表させていただきます。

私のタイトルの中にアイメリア原虫というのが書かれております。こ

れについて少しお話させていただきたいと思います。

### アイメリア原虫とは？

①アイメリア原虫って？  
 ▶消化管に感染する寄生虫  
 ▶大きさはおおよそ10-30ミクロン  
 (0.01mm-0.03mm)

②どのような動物に寄生する？

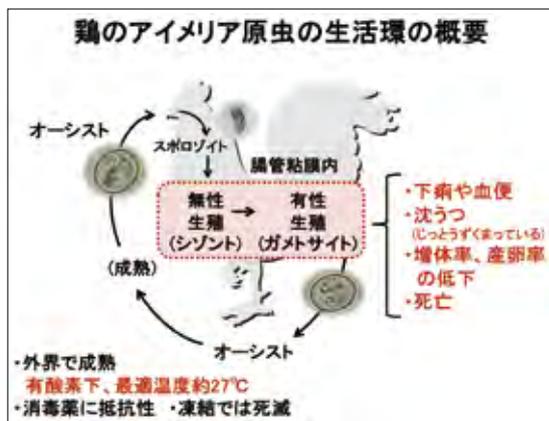
▶鳥類や草食動物に寄生します

└─▶ 牛、羊、山羊、ウサギ 等

└─▶ 鶏、シチメンチョウ、キジ 等

③野生動物のアイメリア原虫についてはよく分かっていない

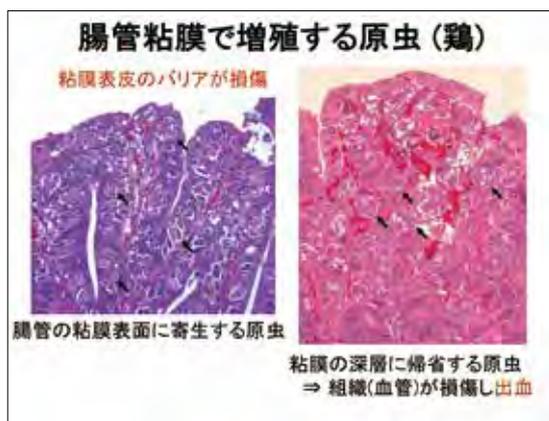
しかし、こちらにありますように野生動物においてもアイメリア原虫というのは見られます。しかしながら、家畜に比べて、例えば感染分布、または病原性、それから感染動態についても分かっていないということが多いというのが特徴になります。



そして、原虫は、排せつ直後は感染性はございませんが、ここにありますように有酸素下、そして一般的には27度という温度が適温と言われているのですが、この最適温度によって成熟し、先ほどのスポロゾイトを形成するということになります。

オーシスト自体は消毒薬に極めて強い抵抗性を持っていて、さらに長期間この環境下で生存できるということで、非常に厄介です。しかしながら、凍結には弱くて、凍ってしまふと死んでしまふという性質があります。

一方、病原性については、やはり腸管粘膜で増殖するときこういった病態が発現するわけなのですが、鶏で言いますと下痢や血便、沈鬱、低増体、産卵率低下、そして死亡という症状が挙げられます。



ですけれども、ほぼ場所の偏りなく検出率というのは40～60%ということで、非常に高い陽性率であるということが分かっています。

また、ケージ保護中に死亡したひなの病理組織解析をする機会がありまして5羽を見たところ、5羽とも感染していると。こちらは死後融解しているのですが、そのときの腸管を見ても粘膜のところにもこのように虫体がたくさんいると、そして、ひなは親鳥よりも重度に感染している可能性があるということが分かりました。

次をお願いいたします。

まず初めに、アイメリア原虫というのは何なのかということについて簡単に御説明いたします。

アイメリア原虫というのは、主に動物の消化管に感染する寄生虫の一種であります。

大きさは、非常に小さくて、およそ10～30ミクロンの大きさです。

どのような動物に見られるのかということですが、主に鳥類であるとか、または草食動物に寄生しているのが見られます。肉食動物では基本的に見られません。

特に、例えば鳥類でありましたら鶏、七面鳥、キジなど、草食動物ですと牛、羊、ヤギなどということになります。

御覧のように、家畜においては非常によく解析がなされております。

そこで、鶏のものにはなりますけれども、参考までにアイメリア原虫の生活環というのを示しております。

まず、宿主と呼ばれるこちらの動物になりますけれども、例えば鶏が、オーシストと呼ばれる、いわば虫卵のようなものです。それを口から摂取することによって感染につながっていく。

腸管内でこういったバナナ状のスポロゾイトと呼ばれる虫体一、これが寄生虫の本体になるのですが、これが遊離して、そして腸管粘膜に寄生いたします。そして増殖していくわけなのですが、まずは無性生殖という形で増えていきます。このときの虫体をシズントといいます。

そして、最終的に雄と雌という形まで分化いたしまして受精し、そして新たなオーシストが排出されます。これは糞便とともに排出されることとなります。

これが実際に鶏に寄生しているアイメリア原虫なのですが、腸管粘膜の空洞の見えるところにたくさん寄生しているのが分かると思います。

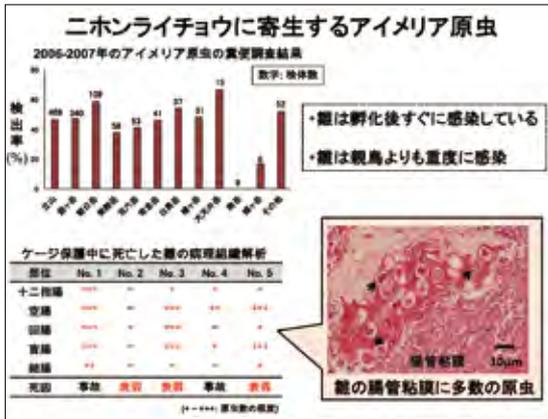
または、このように腸管の深部において寄生しています。

例えば、これが先ほど言いましたシズントになりますが、2,000個以上の虫体が含まれているというふうに言われています。

次をお願いします。

そして、ここからですけれども、ニホンライチョウには2種類のアイメリア原虫が寄生しているということが知られておりました。

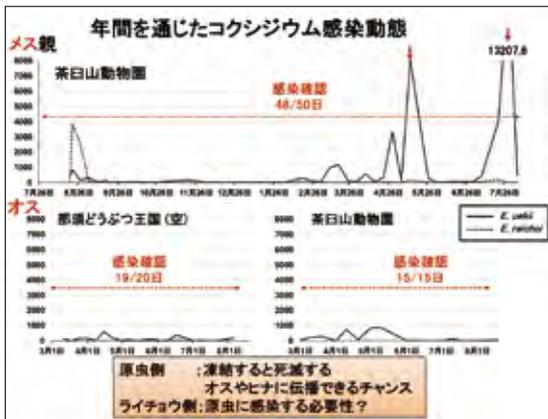
私どもが、例えば一例を示しておりますが、2006年～2007年、落排便または新鮮便を個別に回収しまして、そして糞便中の原虫を検査しております。そうしますと、N数が低いものは比較的低いところもあるの



これは、家畜は、1度感染するとももちろん原虫の排出数は上がるは上がるのですが、その後は下がって陰転します。これが我々の教科書的にも知っている情報なのですが、ずっと感染していると、しかも春先、そして夏場にこのように排出量がぐんと上がっている一、これは腸管内での増殖が激しくなっているということになるのですが、このような特徴的な傾向が見られました。

一方、雄ではどうなのかということですが、個別飼育をする時期の関係で3月から8月までのものですが、こちらもずっと感染し続けているということが分かりました。

しかし、ここにありますように夏場に向けたピークというのが雌のように起こっていないということが示唆されました。



これまでは個別に落下便を採取して検査をしていたわけなのですが、一方で、1個体、同じ個体をずっと検査をしていくと、どのような感染動態があるのか、さらに冬季においては採材ができませんのでどのようになっているのかということが分かりませんでした。

今年初めて1個体を追うことができたわけですが、こちらは茶臼山動物園のほうに昨年下ろした家族の雌親になります。

縦軸がふん糞便1グラム当たりの原虫数になります。

そして、昨年7月からずっと1年かけて今年8月頃まで検査をしております。

そうしますと、幾つかの日にちを抽出して検査をしたのですが、50日中2種とも陰性であったのは僅か2日間であり、軽度ではあるのですがずっと感染し続けているということが分かりました。

あくまでスペキュレーションではあるのですが、原虫側にとっては、この時期一、冬場に例えば外界に出たとしても凍ってしまって死んでしまうということであるならば一旦増殖を休止してライチョウの体内で越冬し、そして、例えばつがいになるであるとか、または繁殖、ひなを世話するというような時期、これはもちろん原虫にとって伝播できるチャンスでもありますので、増殖を再開し、このように排出量が上がっているのではないかと考えています。これはあくまでもスペキュレーションです。



こういったよく分からない原虫については、まず初めにすべきこととしては種をきちんと特定する、遺伝子解析をするということになります。

アイメリア原虫は2種いると先ほど申しましたが、1つはこういう長細いタイプ、そしてもう一つは丸いタイプになります。

遺伝子解析をしたところ、縦長のものは病原性が高い種がいるということで知られている鶏のアイメリア種と非常に近縁であると、そして丸いタイプは七面鳥と近縁であると、これは我々の研究グループが調査して新種であるということが分かり、ライチョウから取ってライチョイという名前をつけております。



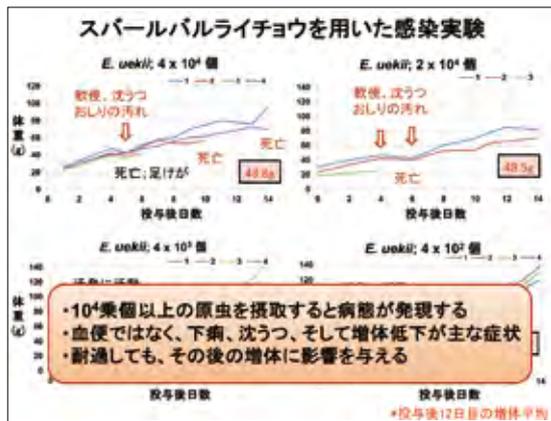
そして、今年度の新たなデータになるのですが、昨日、小林先生がお話していましたが、世界にはニホンライチョウなど、亜種となるライチョウがいるということを話していました。

そこで、ヨーロッパオオライチョウ、クロライチョウ、それからスバル諸島のスバルライチョウ、それからアイスランドのライチョウにもアイメリア原虫がいるということが分かっておりましたので、それを受け入れて遺伝子解析をしました。

その結果、細長いタイプはウエキイと同一または極めて近縁であり、また4種の丸いタイプはライチョイとほぼ近縁であるということが分かりました。

したがって、ニホンライチョウが排せつした便の中の原虫を生息

地的に隔離されているライチョウが摂取する機会というのはほぼないと思われますので、これはまだまだ解析しなきゃいけないですが、もしかすると氷河期以降の早い段階から原虫とともに進化してきたのかなあというようなことも考えております。



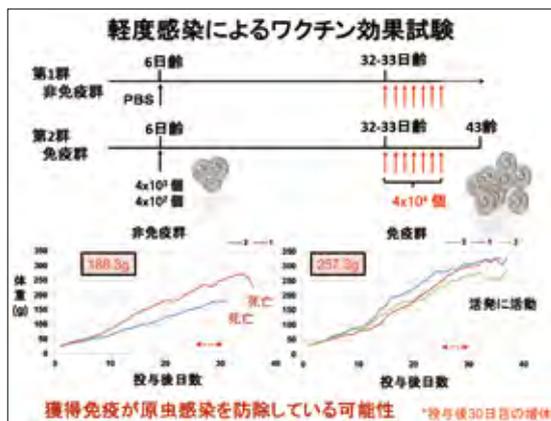
ものが1羽いるのですけれどもも活発に活動し続け、増体も良好で、そしてこちらは投与量の多いほうに比べると2倍以上です。

そして、やはり病原性というのが1つの重要なポイントになってくるのですが、未知の病原体を評価する際には、やはり感受性のある動物に実際に感染させて病態を見るというのは常套手段です。

しかしながら、もちろんニホンライチョウでは実施できませんので、亜種となるスパーバルライチョウにニホンライチョウ由来のアイメリア原虫を投与してみました。

2種あるのですけれども、ウエキイで数をそろえています。その結果、4かける10の4乗個、2かける10の4乗個を口から投与した場合には、例えばこのように4羽中3羽が死亡してしまい、こちらも1羽が死亡、そして4日目あたりに体重が落ちて軟便や沈鬱などが見られる、そしてそのときの増体は約48グラムでありました。

一方、1オーダー低い10の3乗個・2乗個を投与してみると、死亡した



ということで、鶏で見られるような血便をばんばん出して、もう死んでしまうというような、そこまでの病原性はないだろうということが分かりました。

しかし、一定量以上の原虫を摂取するとういった病態が発現する可能性がある、それも全てではないのですけれども、可能性があるということが示唆されたという結果です。

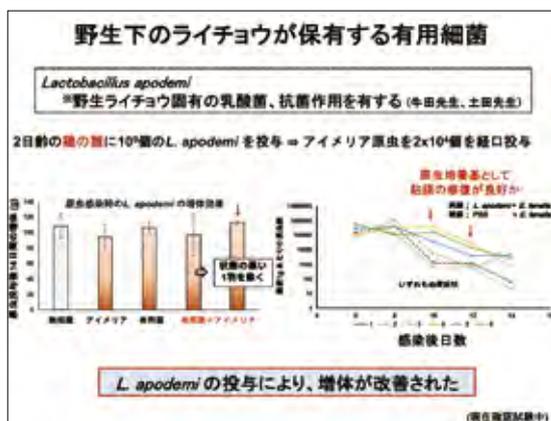


そこで、野生下ではどのように生き延びているのかということ、やはり獲得免疫というのが1つ気になります。

そこで、非免疫群と免疫群を2つに分けて、そしてその後は病態発現量を7日間連続で投与してみました。

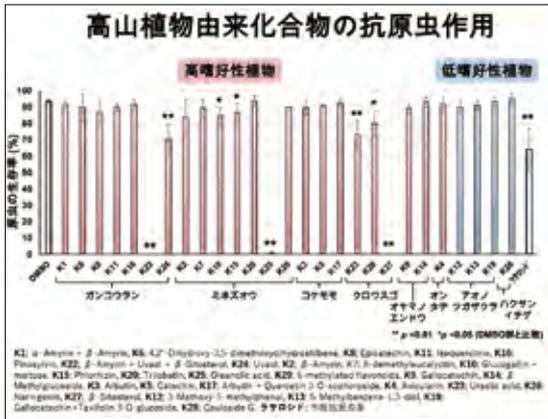
その結果、非免疫群につきましては、2羽とも7日間投与後すぐに死亡してしまいました。そして、その増体は188グラムでした。

一方、軽度感染により免疫を獲得させたものは、増体がちょっと落ちてはいるのですが、3羽とも活発に活動し、増体も改善しているという結果が得られました。



ということで、野生動物のアイメリア原虫についてはよく分かっていないところが多いのですけれども、特に我々は、原虫の越冬はどうしているのだろうか、環境が氷点下になるようなところでどのようにして伝播しているのかということは謎でした。

しかし、今回、今年、1個体を追って解析したことで、恐らく冬場においては増殖を一旦休止してライチョウの体内で越冬し、そしてつがいになる、またはひなの世話をするといったときに増殖を開始し、直接的な感染経路はまだ分かっていないのですけれども、糞便の直接感染経路で感染しているのではないかとということが示唆されたという結果です。



減っていきます。

そして有用菌を投与し、そしてアイメリア原虫を投与すると、これはちょっとN数の関係で、1羽は非常に状態が悪かったのですが、仮にそれを除いた場合ですけれども、このように無処置よりも増体が高いというような結果が得られました。

そして、糞便中の原虫数はどうなのかというのを見てみましたところ、このような形で、破線は乳酸菌を投与していない原虫のみ、実線は乳酸菌を投与しているのですけれども、特に後半で原虫の排出が少し高いという結果が得られました。



以上のことから、これはまだまだ解析をしていけないといけないところなのですが、このあたりで原虫がより増えているということは、恐らく損傷のあった腸管粘膜が修復を受けたことが関係しているのではなかろうかと、もちろん増体が改善しているということからも、そういう仮説を今は考えています。ここは中部大学の先生方とともに明らかにしていきたいと思っています。

もう一つの候補といたしましては、先ほどの発表でも話がありましたが、高山植物には毒性の化合物があります。もしかするとそれが駆虫薬的に働いているのではなかろうかという解析です。

つまり、たくさんありますが高嗜好性植物から抽出した化合物、そしてブルーが低嗜好性の植物です。この抽出物とアイメリア原虫を作用させてみました。

その結果、こういったところもあるのですけれども、非常に複数の抽出物で強い抗原虫作用が見られる、しかし低嗜好性にはない。

そして、この白いバーは現在使われている駆虫薬です。現在はこれよりも非常に強い作用が見られる可能性が示唆されているということになります。

まとめ的なところになるのですけれども、やはりアイメリア原虫、腸内細菌、高山植物ということで、まだあるかもしれませんが、少なくともこの3つの要素が腸管内でバランスの取れた形で野生下のライチョウは生き続けているのではなかろうかということなので、それを野生復帰個体群に対しては再構築しなきゃいけないのかなというようなところを現在は考えているということです。

まだまだ分からないことがあります。防御免疫がどのような過程なのかとか、3要素の適切な構成構築がどのようなメカニズムなのかということについては、まだまだ解析をしないといけないということになります。

最後に、これらの研究には多くの皆様方の御協力ということで、謝辞を申し上げます。

私の発表は以上になります。(拍手)

○座長(中村 浩志) 松林先生、ありがとうございます。

アイメリア原虫の寄生の問題はライチョウの飼育に非常に重要な課題です。そのアイメリア原虫の生態が解明されつつあるということを経験の発表では聞かせていただきました。ありがとうございました。

- ### まとめと考察
- アイメリア原虫については、まだ多くの不明な点が残っている。  
【極めて大きな課題】寄生か共生か
  - 軽度の原虫感染により防御免疫の賦与が可能
  - 病態の軽減には、野生型腸内細菌や高山植物が関わっている？
  - 野生復帰個体群の創出には少なくとも3要素の適正な構築が必要？

- ### 謝辞
- 研究分担者
- 中部大学: 牛田一成先生, 土田さやか先生
  - 東京理科大学: 倉持幸司先生
  - 環境省信越自然環境事務所: 小林 篤先生
  - 大阪公立大学 獣医学研究科: 佐井和美教授, 関口理香さん, 朝岡典子さん, 木下朝葉さん
  - 富山大学: 長谷川理美先生, 飯島大地先生
- 研究協力者
- 中村浩志国際鳥類研究所: 中村浩志先生
  - 動物園関係者様: 佐藤賢也先生, 原藤芽衣先生, 牧原由紀先生, 山上達康先生, 田村直也先生, 伊藤 崇先生, 佐々木真己先生
  - 自然環境研究センター: 藤子晴光先生
  - 鳥獣保護 動物衛生研究所: 芝原友幸先生
  - 大阪公立大学 医学研究科: 金子明教授, 城戸 慶年教授, 寺本 剛博士
- 【研究費】  
○基盤研究(団) (19H04319)  
○「ホンライチョウ野生原虫の寒冷地共生進化経路の解明と保全に向けた実践的課題解明」  
○2019年度 環境研究総合推進費実施課題 (4-1903)  
【ライチョウの再導入に必要な腸内環境整備に関わる技術開発】