

学 術

Food chainを通じた鶏肉由来食中毒の制御戦略

岡村 雅史

帯広畜産大学 獣医学研究部門 基礎獣医学分野 応用獣医学系

1. はじめに

世界の人口増加に歯止めがかからない。国連によると、1950年には約25億人であった総人口は、2021年現在は78億人に上る。さらに2030年には85億人に達する一方で、その10%にあたる8億4千万人が飢餓状態になるとの試算もある。そんな中、2025年から2030年の間に、タンパク質の需給バランスが崩壊する、いわゆる「タンパク質危機」も憂慮されている。全人類に必要な十分なタンパク質を供給する解決策として、例えば大豆ミートをはじめとした植物由来肉へのシフトが話題に上るが、大豆生産量は1960年から10倍に増加しており、これ以上の増産は現実的でない。昆虫食や培養肉などの代替タンパク質の供給についても安全面やコスト面で課題がある。人類のタンパク質資源の需要を満たすには、まだ家畜

由来の食肉に頼らざるを得ないのが現状である。

このような食の安定供給に関わる課題が表面化しつつある一方、食の安全に関わる課題もまた深刻化している。その最も重要な課題の一つが食品由来感染症、いわゆる食中毒である。WHO¹⁾によると、2010年の世界食中毒患者数約6億人のうち半分以上に当たる3.5億人は細菌性食中毒の患者であり、中でも9500万人超と最も多いのがカンピロバクター食中毒である(表1)。死者数21374人とYLL (Years of Life Lost: 損失生存年数) 168万こそサルモネラ食中毒による59153人と397万に及ばないものの、YLD (Years Lived with Disability: 障害生存年数) は44.2万とサルモネラの78306と比較して桁違いに大きい。これは、単純に食中毒症状によるものだけでなく続発性ギランバレー症候群によるものが加算されているためと考えられる。これらYLLとYLDの

表1 2010年の世界の食中毒患者数、死者数、YLD, YLLおよびDALYsの中央値(文献[1]より一部抜粋)

危害要因	食中毒患者数	食中毒死者数	食中毒YLDs	食中毒YLLs	食中毒DALYs
合計	600,652,361	418,608	5,580,028	27,201,701	32,841,428
細菌	349,405,380	187,285	685,212	13,795,606	14,490,808
カンピロバクター属菌	95,613,970	21,374	442,075	1,689,291	2,141,926
腸管病原性大腸菌 EPEC	23,797,284	37,077	22,977	2,908,551	2,938,407
腸管毒素原生大腸菌 ETEC	86,502,735	26,170	70,567	2,011,635	2,084,229
腸管出血性大腸菌 EHEC	1,176,854	128	3,486	9,454	12,953
非チフス性サルモネラ	78,707,591	59,153	78,306	3,976,386	4,067,929
シゲラ	51,014,050	15,156	51,613	1,181,231	1,237,103
ビブリオ	763,451	24,649	2,721	1,719,381	1,722,312

和をDALYs (Disability Adjusted Life Years : 障害調整生命年) と呼び、1 DALYはいわば健康な状態で過ごす人生を1年失ったことを意味する。カンピロバクター食中毒では214.2万DALYに上る。このDALYsが最も高いのはサルモネラ食中毒 (406.8万DALY) である。その他、大腸菌食中毒も比較的被害が大きいことがわかる。

ほぼ同時期に当たる2011年の日本国内におけるYLL, YLDおよびDALYsは、サルモネラ食中毒でそれぞれ166, 2979, および3145に対し、カンピロバクター食中毒でそれぞれ97, 5968および6064であり²⁾、カンピロバクター食中毒のDALYsはサルモネラ食中毒のそれを上回る。サルモネラ属菌による食中毒は、1990年前後に始まった*Salmonella enterica* 血清型Enteritidis (SE) 汚染鶏卵を原因食品とした事

例の世界的急増で注目された。しかし、鶏卵の消費期限の設定、ひなの輸入検疫の強化、養鶏場での衛生管理の徹底、飼料工場の製造・品質管理体制の整備、さらに採卵鶏へのワクチン接種の開始など、様々なリスク低減策が打たれた結果、最盛期には年間825件 (1999年)、患者数16576人 (1996年) に上ったサルモネラ食中毒は、近年では年間18件 (2018年)、患者数440人 (2014年) にまで激減した (図1および2)。一方、カンピロバクター (*Campylobacter jejuni/coli*) による食中毒の発生件数は2000年前後から増加傾向を示し、2018年は319件、患者数は1,995名に上り、細菌性食中毒ではいずれも1位である。2006年のカンピロバクター食中毒患者数は、厚生労働省の統計では3,439人であったが、アクティブサーベイランスでは1,545,363人

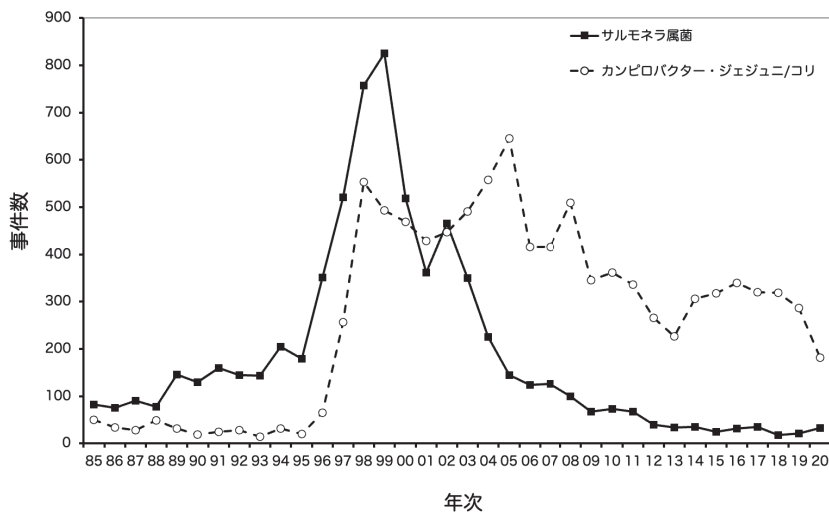


図1 日本の主な病因物質別食中毒事件数の年次推移 (厚生労働省 食中毒統計より作成)

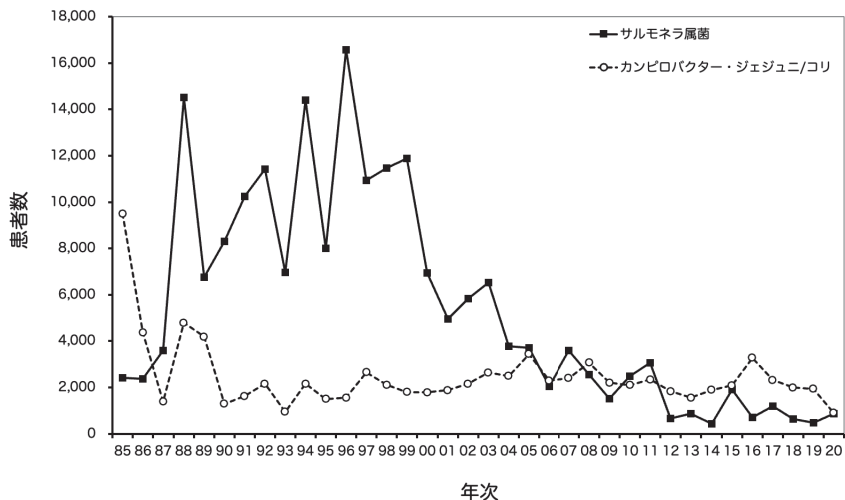


図2 日本の主な病因物質別食中毒患者数の年次推移 (厚生労働省 食中毒統計より作成)

と推定され³⁾、潜在的患者数は報告より約450倍も高いことから、カンピロバクター食中毒の問題の大きさが窺える。

このような経緯から、サルモネラ食中毒に対する問題意識は薄れつつあるように見える。しかし、近年国内で事件数・患者数の急増したカンピロバクター食中毒では死亡者がこれまで報告されていないのに対し、サルモネラ食中毒では以前から死亡例が散見される(1996～2020年で計19人)。事件数の少なくなった2011年でさえ、サルモネラ食中毒により3人が死亡していることから、実際にはいまだ軽視できる状況ではない。さらに、その様相も汚染鶏卵を介して多発した時期とは一変している。人由来サルモネラ分離株のうち、食中毒の主な原因であったSEの割合は、1998年には60%以上を占めていたが、その後2014年以降は10%前後にまで激減している(図3)。そして、それ以前より分離頻度の比較的高かった血清型Typhimuriumに加え、2000年代後半からは血清型Infantis (SI), 2010年以降は血清型Schwarzengrund (SS) などの占める割合が増加している。

2. 鶏肉を原因食品とした食中毒の現状

わが国におけるカンピロバクター食中毒事例のうち、約70%が原因食品不明(会食など特定の食品に

限定しないものを含む)となっているが、原因食品が明らかになっているものの多くは鶏肉関連である(図4)。例えば2019年は、事件数全286件(患者数全1937人)のうち鶏肉が原因食品と考えられるものは少なくとも91件(560人)に上り、そのうち80件(487人)は生食(鶏刺身, 鶏たたき, ささみユッケなど)や加熱不足(焼き鳥など)に起因する。実際に2012年7月から10月に日本全国から収集された市販鶏肉計100パックにおけるカンピロバクター汚染率は、71%と非常に高率で、中でも*C. jejuni*がその大半(64/71)を占めた⁴⁾。これに加え、人由来分離株と鶏肉由来分離株の間ではパルスフィールドゲル電気泳動法(Pulsed Field Gel Electrophoresis; PFGE)において同一のパターンが認められ⁵⁾、多遺伝子座塩基配列型別(Multi-locus sequencing typing; MLST)による解析では日本特有のパターンであるST-4526が人由来株と鶏由来株で共通で認められる⁶⁾など、鶏肉に付着したカンピロバクターが人の感染源となっている可能性は分子レベルでも示されており、これは世界的にも共通して認められている^{7, 8)}。

次に2000年から2010年までと2011年から2020年までで、サルモネラ食中毒の原因食品(不明, 複合調理食品を除く)の割合を比較した(図5)。鶏卵あるいはこれを使った食品が原因となった事件数の割合は、2010年までは72.6%なのに対し、2011年以

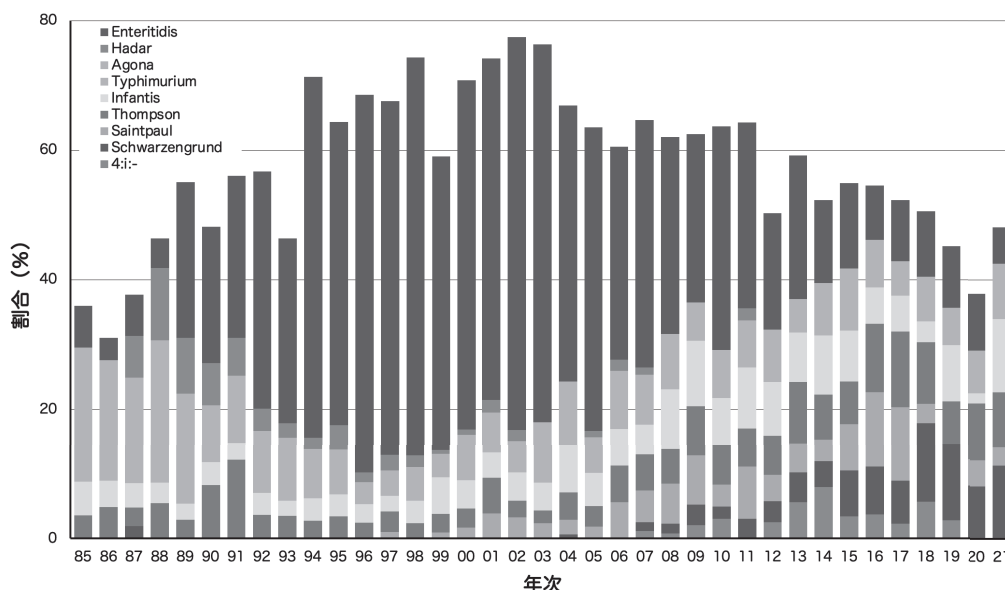


図3 主なヒト由来サルモネラ分離株における血清型の割合(国立感染症研究所病原微生物検出情報より作成)

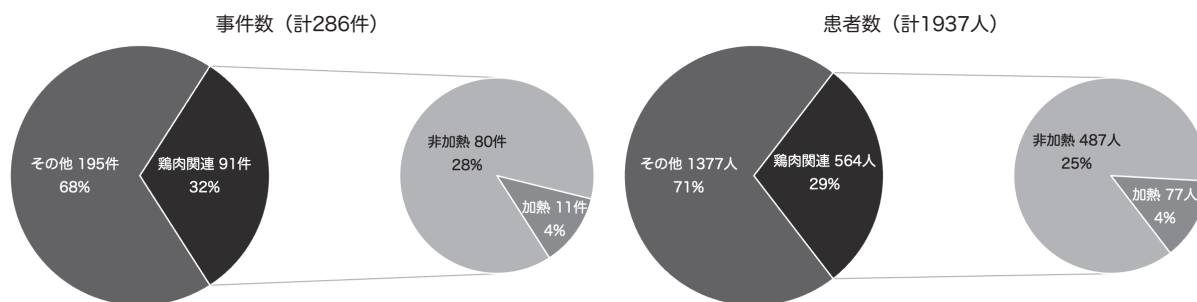


図4 2019年のカンピロバクター食中毒の主な原因食品 (厚生労働省 食中毒統計より作成)

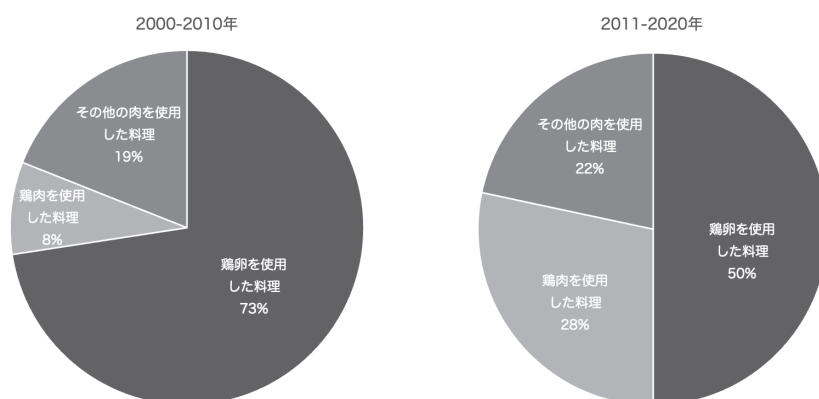


図5 サルモネラ食中毒の主な原因食品の変遷 (厚生労働省 食中毒統計より作成)

降は50.0%と減少している。実際に、市販の殻付鶏卵内容物を検査した報告^{9,10)}を見ても、鶏卵のサルモネラ陽性率は1990年代の0.0265% (7/26,400) から2010年の約0.0029% (3/105,033) へと約1/10に減少している。一方、同図からは鶏肉やそれ以外の食肉を含む原因食品の割合が増加していることもわかる。その食品には鶏肉のたたきや焼肉、牛レバー、ユッケ、焼き鳥などが含まれている。

先述した2012年の市販鶏肉計100パックの調査ではサルモネラの分離も行われており、その汚染率は54%であり⁴⁾、分離された血清型は、SI (33株)、SS (12株)、Manhattan (9株) およびその他 (6株) であった。他の国内市販鶏肉を対象とした調査でもほぼ同様の結果が得られている^{11,12)}。すなわち、鶏肉から分離されるサルモネラの血清型はSIとSSが多く、このことは人由来分離株に見られる昨今の傾向と一致している。なかでもSIIは、食品取扱者と食中毒患者由来株と鶏肉由来株においてPFGEおよび増幅断片長多型 (Amplified Fragment Length Polymorphism; AFLP) のいずれも共通したプロファイルを示していた。同様の結果は別の研究におけるSIの人由来分

離株と鶏肉由来分離株での遺伝子型別の比較¹³⁾でも得られており、これらのことは鶏肉とSIが人の感染に寄与していることを強く示唆している。

また、鶏肉のもととなるブロイラーなどの肉用鶏においても、カンピロバクターとサルモネラの保菌率が非常に高いことがわかっている。健康なブロイラー糞便を用いたカンピロバクターおよびサルモネラの保菌調査は動物医薬品検査所による事業 (JVARM) の一環として行われており、2001~2004年の*C. jejuni*と*C. coli*の分離率はそれぞれ28.2% (80/284) および4.6% (13/284)¹⁴⁾、2000-2003年のサルモネラ分離率は20.1% (57/283)¹⁵⁾で、これは採卵鶏糞便からのサルモネラ分離率 (3.4%; 15/444) と比較しても非常に高かった。また、ブロイラーから分離された91株のサルモネラのうち、65株 (71.4%) がSIであった。さらに、Sasaki et al.¹⁶⁾ は、2007年から2008年にかけて124農場各1鶏群で盲腸便を用いてカンピロバクター検査を行ったところ、汚染率は43.5% (54/124) であった。2007年から2010年に実施された調査¹⁷⁾では、調査した鶏群の85.1% (245/288) がサルモネラ陽性

で、分離株の71.8% (176/245) がSI, 34/245が血清型Manhattan, 28/245がSSであった。ブロイラーから分離されるサルモネラの血清型はやはりSIとSSが多い。鶏肉のカンピロバクター汚染およびサルモネラ汚染は、ブロイラーがこれらを保菌している段階から始まっていると言える。

3. 鶏肉とカンピロバクターのリスク評価の概要と鶏肉food chainの汚染実態

世界各国で鶏肉および鶏群がカンピロバクターやサルモネラの高度の汚染を受けていることが明らかになり、2002年のFAOおよびWHOをはじめ、その後も主に欧州諸国を中心に、ブロイラーや鶏肉における両菌に関するリスク評価が実施され、主なリスク要因が生産、処理・加工・流通、および消費を含むfood chain全段階に存在することが示されてきた。2009年に内閣府食品安全委員会の実施した鶏肉とカンピロバクターに関するリスク評価¹⁸⁾では、リスク管理措置として「生食割合の80%減」が単独で食中毒発生リスクを69.6%低減でき、最も有効であることが示された。さらに食鳥処理場での「食鳥の区分処理」(44.0%低減)と「塩素濃度管理の徹底」(21.4%低減)がこれに続いた。しかし、カンピロバクター食中毒の発生件数は2005年に最多の645件を記録して以降2019年までほぼ300件以上であり、患者数も2000人前後を維持している(図6)。これは、実際のリスク管理がいかに難しいかを物語って

いる。では、リスク管理措置の実施にあたってどこに問題があったのであろうか。

その一つとして、定量的な基準値が設定されていなかった点が挙げられる。ヒトがカンピロバクター症を発症するのに必要な菌数に基づいて、生産から消費の各段階で単位当たりの菌数をそれぞれどこまで低減するか、という観点で目標達成規格(Performance Objective; PO)を設定する必要がある。

過去の有志者の接種試験によると、人がサルモネラあるいはカンピロバクター食中毒を発症するのに必要な菌数はそれぞれ $10^8 \sim 10^9$ 個(実際の事例の調査では $\sim 10^4$ 個)¹⁹⁾あるいは 10^2 個程度²⁰⁾と考えられている。

一方で、これまで行ってきた我々の調査において、出荷後の盲腸内菌数、処理途中のと体表面の菌数、そして市販鶏肉製品に含まれる菌数を調べたのが図7である。ひな導入直前の鶏舎内検体からはサルモネラもカンピロバクターも検出されない。その後多くの場合、サルモネラは1週齢で盲腸便から検出され始め、その後出荷時(約50日齢)まで盲腸内容物1グラム当たり 10^2 個程度の菌が検出された。これらの鶏群が処理場へ出荷、処理された中抜きと体表面からはと体あたり 10^2 個程度、さらにカットされた鶏肉製品の表面からも1グラムあたり 10^2 個程度の菌が検出された。カンピロバクターの場合は2週齢前後になってから検出され始め、その後さらに盲腸内の菌数は急激に増加し、出荷時には盲腸内容物1グラム当たり 10^8 個の菌が検出された。この鶏群

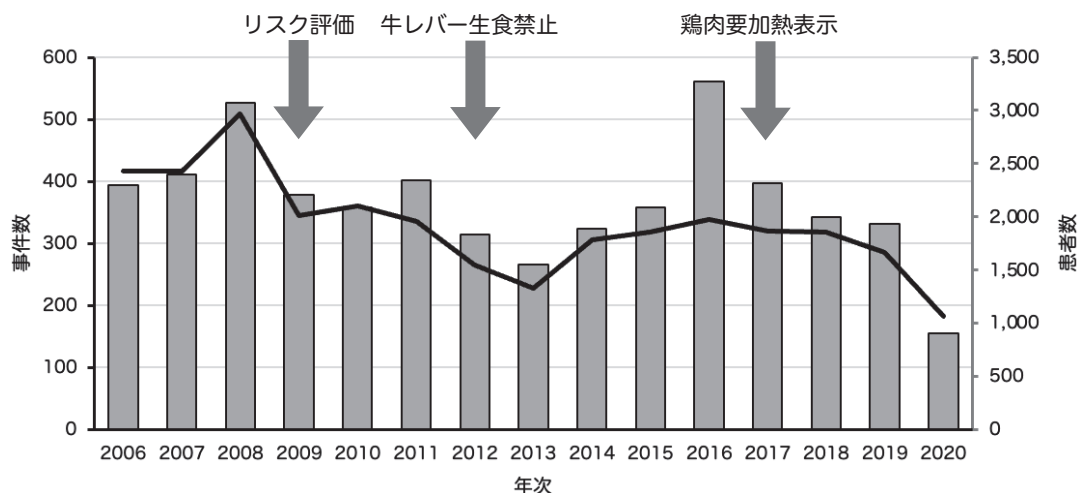


図6 カンピロバクター食中毒の事件数および患者数の推移(厚生労働省 食中毒統計より作成)

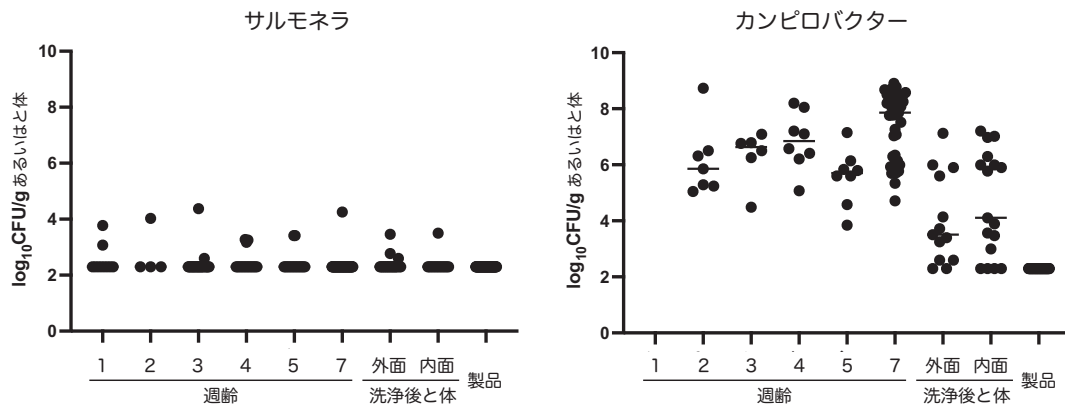


図7 ブロイラー盲腸内容物、と体および鶏肉製品におけるサルモネラ(左)とカンピロバクター(右)の菌数

の中抜きと体表面からはと体あたり 10^4 個が検出され、鶏肉製品の表面からは1グラム当たり 10^2 個が検出された。つまり、いずれの菌も、汚染された市販鶏肉製品からは、最大 10^2 CFU/g程度が検出されるため、喫食量100g換算では最大 10^4 CFUが存在する可能性がある。単純計算や推測の部分もあるが、現状では加熱不十分な鶏肉を喫食すると、サルモネラやカンピロバクターに感染する可能性は極めて高いことがわかる。食中毒発生リスクを大幅に低減するためには、消費者への教育・啓発はもちろんであるが、処理場での交差汚染により汚染率は高くなってしまふこと、そして加熱不十分な状態で鶏肉を喫食してしまう場合があることを想定した上で、最終製品となる鶏肉に付着している菌数を 10^2 個以下に抑える必要がある。

4. 消費段階でのリスク管理措置

リスク評価の結果を見るまでもなく、そもそも食中毒は消費段階で加熱調理を徹底すれば予防可能である。さらに、わが国では直接的・間接的にカンピロバクター食中毒を減少させよう対策が打たれてきた。例えば、2012年に鶏肉と同じくカンピロバクター食中毒の原因食品として知られていた生食用牛レバーの販売が禁止された²¹⁾が、これは牛肝臓内部から腸管出血性大腸菌が検出されたことに端を発する。鶏肉の生食についてはまだ規制はないが、2017年に厚生労働省および消費者庁は、食肉処理業者や卸売業者等が飲食店営業者に対して、鶏肉の表示な

どによって加熱が必要な旨を確実に伝達するよう通知²²⁾を出して、生食に関する責任の所在の明確化を図り、現在に至る。では、なぜ減少しないのか。生食は元来特定の地方の郷土文化として根付いたものであり、当該地方の一部の自治体では、生食用の鶏肉の生産・販売のための衛生対策(カンピロバクター陰性の成分規格目標やと体表面の焼烙による殺菌基準目標など)が定められている。真の問題は生食そのものではなく、このような厳格な衛生基準を置き去りにして、生食だけが他の地方や都市部へと広がってしまった点にあるのではなからうか。したがって、消費段階では生食の低減はもちろん重要ではあるが、通常の加熱用鶏肉が生食用に転用されている現状や、調理時の誤った取り扱いで他の食品を二次汚染する可能性、そしてカンピロバクター食中毒治癒後に続発するギランバレー症候群の発症リスクなども含めた消費者への継続的な情報発信が不可欠と感じる。

また、鶏の盲腸内保菌数やと体表面・製品の付着菌数についてPOを設定し、それに基づいて、消費段階だけでなく、処理段階や生産段階にも遡って対策を多重に行うことで、食中毒発生リスクを低減する必要がある。

5. 処理段階でのリスク管理措置

まず食鳥処理場での処理工程は、大きく分けて懸鳥、放血、湯漬、脱羽、中抜き、内外洗浄、冷却、そしてカット・包装の工程からなる。最初に脚をラ

インに懸けるため（懸鳥）、基本的に鶏はその後逆さ吊りの状態で処理されていく。中でも脱羽工程では脱羽フィンガーが腹部を圧迫し、中抜き工程では機械的に内臓を引き抜く際に腸を傷つけ、これらの段階でその腸の内容物が漏出することがある。その結果、と体表面にはカンピロバクターやサルモネラを含む消化管内容物が付着する。また、いずれの段階でもと体同士は接触しやすいが、特に冷却の段階では複数のと体と同じ冷却槽に一定時間入れられるため、汚染と体から他の非汚染と体への交差汚染が起こる。冷却水には、と体に付着した菌を除去するための消毒薬（主に次亜塩素酸ナトリウム）が含まれているが、糞便などの有機物の存在下ではその殺菌効果が減弱することが知られている。そこで近年では、厚労省で認可された過酢酸^{23,24}などに代表されるような殺菌効果の持続する新たな資材への転換が試みられている。そのほか、農場から処理場へ出荷される際に使用される生鳥かごの糞便汚染や、カット工程での機器や手を介した二次汚染も問題視されている。したがって、各処理工程で適切な対策を実施しなければならない。

汚染鶏群および非汚染鶏群の区分処理については、その効果は予測できる一方で実証実験の報告はまだ少ないのが現状である²⁵。これを実現するには、農場を出荷される直前の鶏群の保菌状況の把握が不可欠であり、現場で使用可能な簡易かつ迅速な定量的検査法と、その結果を即座に処理場へ反映できるようなシステムが確立が求められる。

6. 生産段階でのリスク管理措置

生産段階での対策として、上記リスク評価書では「農場汚染率の80%減」を想定しており、これ単独ではリスク低減効果が6.1%と低いが、これを区分処理と塩素濃度管理と組み合わせることで、リスク低減効果は87.5%と非常に高くなることが示されている。しかし、このリスク評価では農場汚染率や鶏群内での浸潤率を反映したシミュレーションがなされているものの、各個体が盲腸内に保有しているカンピロバクター菌数は加味されておらず、農場でのリスク管理措置として「盲腸内菌数の減少」は想定

されていない。前述の通り、出荷直前のブロイラーは盲腸内に 10^8 CFU/gを超える濃度のカンピロバクターを保菌しており、この段階でどこまで菌数を低減できるかは、その後の工程での菌数低減にも大きく影響を与える可能性がある。農場でのリスク管理は、大きく分けて(1)農場・鶏舎のバイオセキュリティの強化・維持、(2)鶏の腸内でのカンピロバクター定着の低減、そして(3)鶏へのワクチン接種による感染（定着）予防の3つに集約される。

1) 農場・鶏舎のバイオセキュリティの強化・維持
カンピロバクターは、孵卵場からブロイラー農場に導入された初生ひなからは検出されず、2～3週齢で初めて検出される^{26~28}ことから、基本的にブロイラー鶏群の導入後にカンピロバクターが鶏舎内へ持ち込まれると考えられる。そのため、農場のバイオセキュリティのレベルは、飼育段階の鶏群のカンピロバクター汚染に関わる重要な要因である。カンピロバクターが鶏舎内に入り込む潜在的経路として、生産者自身、野生動物、昆虫類などの関与が指摘されている。農水省は飼養衛生管理基準²⁹を定めており、なかでも農場の衛生管理区域の設定、衛生管理区域への病原体の持込みの防止、野生動物等からの病原体の侵入防止、衛生管理区域の衛生状態の確保は重点項目となっている。しかし、カンピロバクターの侵入経路が明確でない現状では、どの箇所のバイオセキュリティをどの程度強化する必要があるのか、具体的な対策に落とし込みにくいのが実情である。我々は、多くの農場に入り込むカラスに着目し、そのサルモネラとカンピロバクターの保菌状況を調査した³⁰。捕獲した123羽中11羽がサルモネラを保菌しており、その血清型はBredeney（8羽）とDerby（3羽）であり、先述した通常ブロイラーから頻繁に分離されるSIやSSとは異なっていた。カンピロバクターについては調査した89羽全個体が保菌しており、菌種としては*C. jejuni*が大多数（85羽）を占めていた。これらのカラス由来株の多くは、同時期に分離したブロイラー由来株とはPFGE解析で大きく異なっていた。一部のカラス由来株はブロイラー由来株と類似したPFGEパターンを示したが、MLST解析では全く異なるタイプに分類された。こ

これらのことから、カラスがブロイラー農場への両菌のベクターである可能性は低いと考えられ、今後は他の野生動物の関与も含めて調査する必要がある。また、我々の経験では、ある農場で2008年頃に鳥インフルエンザ対策としてバイオセキュリティを強化した際に、それまで頻繁に検出されていたカンピロバクターがすっかり検出されなくなったことがあった。ところが、サルモネラは変わらず検出されていたことから、カンピロバクター対策と鳥インフルエンザ対策は重複する部分があったと推測したが、最終的にどの対策が有効だったのかは不明であった。

2) 鶏腸内でのカンピロバクター定着の低減

鶏の腸内へのカンピロバクター定着を低減し得る対策としては、プロバイオティクス等を用いた競合排除法³¹⁾の他、中鎖脂肪酸、バクテリオファージ、あるいはバクテリオシンなどの投与が挙げられる。競合排除法自体は通常は初生ひなに投与することで腸内細菌叢を早期に確立し、病原細菌の腸内定着を抑制するもので、当初サルモネラ対策として考案³¹⁾、導入されて以来、国内でも一般的に使用されてきた。カンピロバクターは従来2-3週齢以降に検出されることから、カンピロバクター対策としての利用効果が実証された報告はまだ少ないが、プロバイオティクスとしての免疫制御効果等の観点から、報告が増えつつある³²⁾。中鎖脂肪酸は炭素数6~10の脂肪酸であり、中でも炭素数8のカプリル酸の投与による盲腸内定着の抑制が報告されている³³⁾。作用機序としては、カプリル酸が菌体内部に拡散し細胞内pHを低下させることで菌を死滅させると考えられている。バクテリオファージは細菌に感染するウイルスであり、菌体表面のレセプターに結合することで溶菌する。そのため、溶菌できる対象となる菌株の範囲が狭い(特異性が強い)ことから、複数のファージを混合したいわゆるファージカクテルを用いた報告が多い^{34~36)}。バクテリオシンは細菌由来抗菌ペプチドで、カンピロバクターに対する抗菌作用を示すものがいくつか報告されている³⁷⁾。中鎖脂肪酸、バクテリオファージおよびバクテリオシンに関してはほとんどが外国での報告であり、効果の程度には幅がある。多くの場合、それらの効果を発揮す

るには複数回の投与が必要とされるが、耐性菌の出現も認められる^{38~40)}ため、出荷1週間前の短期間の連続投与が想定されている。我々は委託研究として生菌剤、中鎖脂肪酸およびバクテリオシンの効果を評価したが、いずれもカンピロバクターやサルモネラの定着抑制を顕著に示すものではなかった。

3) 鶏へのワクチン接種による感染(定着)予防

鶏においてカンピロバクター定着に対する抵抗性を付与するワクチンは世界中で求められているが、まだ開発には至っていない。養鶏産業では一般的に、不活化ワクチン(アジュバント含む)は皮下、筋肉内あるいは点眼接種で、弱毒生ワクチンは経口(飲水)、経鼻・点眼(噴霧・散霧)、皮下、腹腔内あるいは卵内接種で用いられる。飼育期間が50日程度と短いブロイラーでは、前者を用いると出荷時に接種部位にアジュバントが残留したり肉芽腫を生じ、鶏肉製品の商品価値の低下やこれを喫食した人における健康危害をもたらす恐れがあるため、後者しか用いられない。我々は、試作した死菌ワクチンの効果を飼育期間の長い地鶏を用いて評価したところ、特異抗体は上昇したものの、盲腸での菌の定着低減効果が得られず、やはりアジュバントの残留もみられた⁴¹⁾。実際のワクチン候補としては、菌の腸管定着(細胞接着など)に関わる抗原を大腸菌等で発現させた組換えワクチンや、その抗原遺伝子を他の病原体の生ワクチン株に組み込んだベクターワクチンが考えられ、諸外国では実験レベルでその効果が報告されている⁴²⁾。

7. おわりに

冒頭で触れたように、今後は世界的なタンパク質資源の供給不足が憂慮されている。そこで、既存の食肉に目を向けると、この20年ほどで生産量が倍になっているのが鶏肉である(図8)。鶏肉は、2018年にはそれまで生産量トップだった豚肉を超えるまでに増産され、2020年現在で年間約1億3712万トン生産・消費されている(牛肉は7189万トン、豚肉は1億534万トン)。鶏肉の消費が増加してきた要因の一つとして、牛肉はヒンズー教により、豚肉はイス

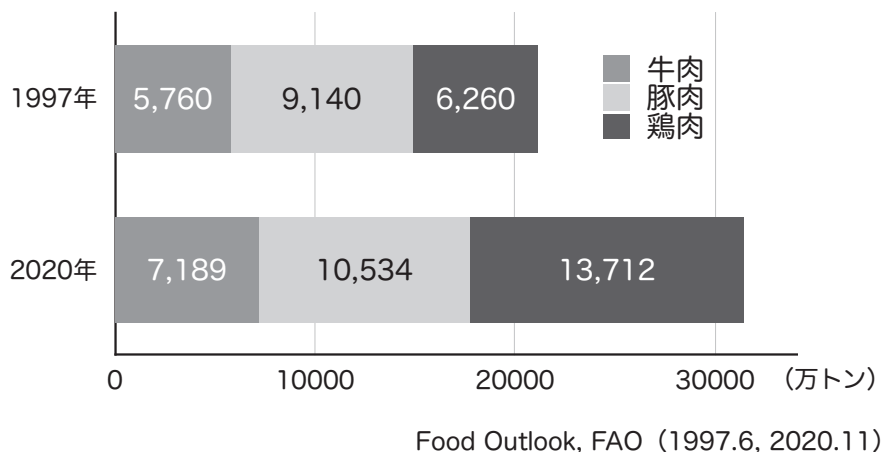


図8 1997年と2020年の世界の食肉生産量の比較 (FAO Food Outlookより作成)

ラム教により、その喫食が禁じられている一方、鶏肉はそのような宗教による制限がほとんどないことが挙げられる。また、鶏肉のもととなる生きた鶏の増産には、その飼料効率の高さや育種改良による肉量の増加、さらには大規模集約化の推進が大きく寄与してきた。今後もその傾向が変わることはなかろう。しかし、本稿で述べてきた食の安全確保のみならず、食の安定供給においても、鶏肉は大きな問題をはらんでいる。世界の養鶏産業は、大きなピラミッド構造になっており、我々が食する鶏肉や鶏卵はそれぞれ肉用鶏と卵用鶏（ピラミッドの底辺）から生産されるが、その両親と祖父母はそれぞれ種鶏（Parent stock: PS）および原種鶏（Grandparent stock: GP）と呼ばれ、日本を含む多くの国が輸入に頼っている。さらにこれらを後代鶏とする原原種鶏（Great grandparent stock: GGP）や基礎鶏（Elite stock: ES）は、世界のほんの数社によって維持されており、いわば寡占状態である（ピラミッドの頂点）。これが、養鶏産業が切花産業ともいわれる所以である。この状況で高病原性鳥インフルエンザなどの越境性感染症が流行し、万が一ES～PSで被害が生じると、1年～数年後に世界の養鶏産業がストップしてしまう恐れがある。越境性感染症でなくとも、例えば1990年代に世界的に流行したサルモネラ食中毒は、原種鶏や種鶏に入り込んだSEが経卵巣伝播により後代鶏へと広がったことが原因と考えられている⁴³⁾。現在は各社とも各系統を世界中に分散配置してリスク管理をしているようではあるが、生産国での小さな被

害が輸入国での大きな被害につながることに変わりはない。

食の安全確保は消費段階でのヒトの感染症制御であり、食の安定供給は生産段階での動物の感染症制御である。一見するとこれらは別なものとして認識される。しかし、food chainの最も上流に位置する生産段階、すなわち農場でのリスク管理は必ずしも動物の感染症制御のためだけでなく、ヒトの感染症制御にも大きく寄与することが理解できる。カンピロバクター食中毒に関しては、前述の通り、鶏肉および製品に付着しているカンピロバクターの菌数を喫食直前までに 10^2 個程度以下に抑える必要がある。そのためには、消費段階での教育・啓発のみならず、農場におけるバイオセキュリティ強化の維持や真のレゼルポアとベクターの特定、そして各段階での新たなリスク管理措置の開発や導入が重要になる。そして、鶏は症状を示すことなく盲腸内にカンピロバクターやサルモネラを保菌し、鶏肉の生産性に影響を及ぼさない^{44,45)}。この点は、農場経営者がカンピロバクターやサルモネラに高病原性鳥インフルエンザほどの危機意識を持ちにくい要因となりやすいため、注意が必要である。2011年8月に生卵を原因としたサルモネラ食中毒で当時74歳の女性が死亡した事件では、最終的に鶏卵生産者の衛生管理に問題があったとして、2014年に4500万円の損害賠償を命じる判決が出された。このことは、消費者だけでなく生産者への教育・啓発も不可欠であることを示している。

昨今のコロナウイルス感染症の対策では、ワクチン、マスク着用、3密回避など、作用点の異なるさまざまな対策を同時に実施する必要性が理解されつつある。カンピロバクター食中毒やサルモネラ食中毒の対策でも同様に、鶏肉のfood chainに従事する全ての人々と消費者が、それぞれの責任において各段階でのリスクを十分に把握・認識し、管理できるような教育・啓発が望まれる。また、その中で文字通り「from farm to table」を俯瞰することのできる獣医師や獣医学が、食中毒対策にどのように貢献していくのか、我々は今一度認識しておく必要がある。

引用文献

- World Health Organization: WHO estimates of the global burden of foodborne diseases: foodborne disease burden epidemiology reference group 2007-2015, World Health Organization, Geneva (2015)
- 研究代表者 渋谷健司; 分担研究者 ギルモア・スチュアート, ミジャスール・ラハマン, 春日文子; 研究協力者 大田えりか, 喜多真彩, 熊谷優子: 平成26年度厚生労働科学研究費補助金「食品の安全確保推進研究事業 食品安全行政における政策立案と政策評価手法等に関する研究」
- Kubota K, Kasuga F, Iwasaki E, Inagaki S, Sakurai Y, Komatsu M, Toyofuku H, Angulo FJ, Scallan E, Morikawa K: Estimating the burden of acute gastroenteritis and foodborne illness caused by *Campylobacter*, *Salmonella*, and *Vibrio parahaemolyticus* by using population-based telephone survey data, Miyagi Prefecture, Japan, 2005 to 2006, *J Food Prot*, 74, 1592-1598 (2011)
- Furukawa I, Ishihara T, Teranishi H, Saito S, Yatsuyanagi J, Wada E, Kumagai Y, Takahashi S, Konno T, Kashio H, Kobayashi A, Kato N, Hayashi KI, Fukushima K, Ishikawa K, Horikawa K, Oishi A, Izumiya H, Ohnishi T, Konishi Y, Kuroki T: Prevalence and characteristics of *Salmonella* and *Campylobacter* in retail poultry meat in Japan, *Jpn J Infect Dis*, 70, 239-247 (2017)
- Saito S, Yatsuyanagi J, Harata S, Ito Y, Shinagawa K, Suzuki N, Amano K, Enomoto K: *Campylobacter jejuni* isolated from retail poultry meat, bovine feces and bile, and human diarrheal samples in Japan: comparison of serotypes and genotypes, *FEMS Immunol Med Microbiol*, 45, 311-319 (2005)
- Asakura H, Brüggemann H, Sheppard SK, Ekawa T, Meyer TF, Yamamoto S, Igimi S: Molecular evidence for the thriving of *Campylobacter jejuni* ST-4526 in Japan, *PLoS One*, 7, e48394, (2012)
- Cody AJ, Maiden MC, Strachan NJ, McCarthy ND: A systematic review of source attribution of human campylobacteriosis using multilocus sequence typing, *Euro Surveill*, 24, 1800696 (2019)
- Wieczorek K, Wołkiewicz T, Osek J: MLST-based genetic relatedness of *Campylobacter jejuni* isolated from chickens and humans in Poland, *PLoS One*, 15, e0226238 (2020)
- Esaki H, Shimura K, Yamazaki Y, Eguchi M, Nakamura M: National surveillance of *Salmonella* Enteritidis in commercial eggs in Japan, *Epidemiol Infect*, 141, 941-943 (2013)
- 仲西寿男: 食品の安全性に関する最近の話題 サルモネラ, 特に *Salmonella* Enteritidis 感染症の現状とその対策, *食品衛生学雑誌*, 34, 318-322 (1993)
- Noda T, Murakami K, Etoh Y, Okamoto F, Yatsuyanagi J, Sera N, Furuta M, Onozuka D, Oda T, Asai T, Fujimoto S: Increase in resistance to extended-spectrum cephalosporins in *Salmonella* isolated from retail chicken products in Japan, *PLoS One*, 10, e0116927 (2015)
- Taguchi M, Kawahara R, Seto K, Harada T, Kumeda Y: Extended-spectrum β -lactamase- and AmpC β -lactamase-producing *Salmonella enterica* strains isolated from domestic retail chicken meat from 2006 to 2011, *Jpn J Infect Dis*, 65, 555-557 (2012)
- Noda T, Murakami K, Ishiguro Y, Asai T: Chicken meat is an infection source of *Salmonella* serovar Infantis for humans in Japan, *Foodborne Pathog Dis*, 7, 727-735 (2010)
- Asai T, Harada K, Ishihara K, Kojima A, Sameshima T, Tamura Y, Takahashi T: Association of antimicrobial resistance in *Campylobacter* isolated from food-producing animals with antimicrobial use on farms, *Jpn J Infect Dis*, 60, 290-294. (2007)
- Asai T, Esaki H, Kojima A, Ishihara K, Tamura Y, Takahashi T: Antimicrobial resistance in *Salmonella* isolates from apparently healthy food-producing animal from 2000 to 2003: the first stage of Japanese veterinary antimicrobial resistance monitoring (JVARM), *J Vet Med Sci*, 68, 881-884 (2006)
- Sasaki Y, Tsujiyama Y, Tanaka H, Yoshida S, Goshima T, Oshima K, Katayama S, Yamada Y: Risk factors for *Campylobacter* colonization in broiler flocks in Japan, *Zoonoses Public Health*, 58, 350-356 (2011)
- Sasaki Y, Ikeda A, Ishikawa K, Murakami M, Kusukawa M, Asai T, Yamada Y: Prevalence and antimicrobial susceptibility of *Salmonella* in Japanese broiler flocks, *Epidemiol Infect*, 140, 2074-2081 (2012)
- 食品安全委員会: 微生物・ウイルス評価書, 鶏肉中のカンピロバクター・ジェジュニ/コリ (2009)
- 坂崎利一, 田村和満: *Salmonella*, 新訂 食水系感染症と細菌性食中毒, 中央法規出版, 90-123, 東京 (2000)
- Black RE, Levine MM, Clements ML, Hughes TP, Blaser MJ: Experimental *Campylobacter jejuni* infection in humans, *J Infect Dis*, 157, 472-479 (1988)
- 厚生労働省医薬食品局食品安全部長: 食安発0625 第1号, 食品, 添加物等の規格基準の一部を改正する件 (平成24年厚生労働省告示第404号), 平成24年6月25日 (2012)
- 厚生労働省医薬・生活衛生局生活衛生・食品安全部監視安全課長, 消費者庁食品表示企画課長: 生食監発0331 第

- 3号及び消費表第193号, カンピロバクター食中毒対策の推進について, 平成29年3月31日 (2017)
- 23) Moore A, Nannapaneni R, Kiess A, Sharma CS: Evaluation of USDA approved antimicrobials on the reduction of *Salmonella* and *Campylobacter* in ground chicken frames and their effect on meat quality, *Poult Sci*, 96, 2385-2392 (2017)
- 24) Nagel GM, Bauermeister LJ, Bratcher CL, Singh M, McKee SR: *Salmonella* and *Campylobacter* reduction and quality characteristics of poultry carcasses treated with various antimicrobials in a post-chill immersion tank, *Int J Food Microbiol*, 165, 281-286 (2013)
- 25) Sasaki Y, Maruyama N, Zou B, Haruna M, Kusakawa M, Murakami M, Asai T, Tsujiyama Y, Yamada Y: *Campylobacter* cross-contamination of chicken products at an abattoir, *Zoonoses Public Health*, 60, 134-140 (2013)
- 26) Berndtson E, Danielsson-Tham ML, Engvall A: *Campylobacter* incidence on a chicken farm and the spread of *Campylobacter* during the slaughter process, *Int J Food Microbiol*, 32, 35-47 (1996)
- 27) Herman L, Heyndrickx M, Grijspeerd K, Vandekerchove D, Rollier I, De Zutter L: Routes for *Campylobacter* contamination of poultry meat: epidemiological study from hatchery to slaughterhouse, *Epidemiol Infect*, 131, 1169-1180, (2003)
- 28) van Gerwe T, Mifflin JK, Templeton JM, Bouma A, Wagenaar JA, Jacobs-Reitsma WF, Stegeman A, Klinkenberg D: Quantifying transmission of *Campylobacter jejuni* in commercial broiler flocks, *Appl Environ Microbiol*, 131, 625-628 (2003)
- 29) 農林水産省: 飼養衛生管理基準(鶏その他家きん編), 令和3年9月24日公布, (2021)
- 30) Okamura M, Kaneko M, Ojima S, Sano H, Shindo J, Shirafuji H, Yamamoto S, Tanabe T, Yoshikawa Y, Hu DL: Differential distribution of *Salmonella* serovars and *Campylobacter* spp. isolates in free-living crows and broiler chickens in Aomori, Japan, *Microbes Environ*, 33, 77-82 (2018)
- 31) Nurmi E, and Rantala M: New aspects of *Salmonella* infection in broiler production, *Nature*, 241, 210 (1973)
- 32) Deng W, Dittoe DK, Pavilidis HO, Chaney WE, Yang Y, Ricke SC: Current perspectives and potential of probiotics to limit foodborne *Campylobacter* in poultry, *Front Microbiol*, 11, 583429 (2020)
- 33) Solis de los Santos F, Donoghue AM, Venkitanarayanan K, Metcalf JH, Reyes-Herrera I, Dirain ML, Aguiar VF, Blore PJ, Donoghue DJ: The natural feed additive caprylic acid decreases *Campylobacter jejuni* colonization in market-aged broiler chickens, *Poult Sci*, 88, 61-64 (2009)
- 34) Kittler S, Fischer S, Abdulmawjood A, Glünder G, Klein G: Effect of bacteriophage application on *Campylobacter jejuni* loads in commercial broiler flocks, *Appl Environ Microbiol*, 79, 7525-7533 (2013)
- 35) Loc Carrillo C, Atterbury RJ, el-Shibiny A, Connerton PL, Dillon E, Scott A, Connerton IF: Bacteriophage therapy to reduce *Campylobacter jejuni* colonization of broiler chickens, *Appl Environ Microbiol*, 71, 6554-6563 (2005)
- 36) El-Shibiny A, Scott A, Timms A, Metawea Y, Connerton P, Connerton I: Application of a group II *Campylobacter* bacteriophage to reduce strains of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* colonizing broiler chickens, *J Food Prot*, 72, 733-740 (2009)
- 37) Stern NJ, Svetoch EA, Eruslanov BV, Perelygin VV, Mitsevich EV, Mitsevich IP, Pokhilenko VD, Levchuk VP, Svetoch OE, Seal BS: Isolation of a *Lactobacillus salivarius* strain and purification of its bacteriocin, which is inhibitory to *Campylobacter jejuni* in the chicken gastrointestinal system, *Antimicrob Agents Chemother*, 50, 3111-3116 (2006)
- 38) Fischer S, Kittler S, Klein G, Glünder G: Impact of a single phage and a phage cocktail application in broilers on reduction of *Campylobacter jejuni* and development of resistance, *PLoS One*, 8, e78543 (2013)
- 39) Hoang KV, Stern NJ, Lin J: Development and stability of bacteriocin resistance in *Campylobacter* spp. *J Appl Microbiol*, 111, 1544-1550 (2011)
- 40) Mavri A, Smole Možina S: Development of antimicrobial resistance in *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* adapted to biocides, *Int J Food Microbiol*, 160, 304-312 (2013)
- 41) Okamura M, Tominaga A, Ueda M, Ohshima R, Kobayashi M, Tsukada M, Yokoyama E, Takehara K, Deguchi K, Honda T, Nakamura M: Irrelevance between the induction of anti-*Campylobacter* humoral response by a bacterin and the lack of protection against homologous challenge in Japanese Jidori chickens. *J Vet Med Sci*, 74, 75-78 (2012)
- 42) Puntang-On P, Mahony TJ, Hill RA, Vanniasinkam T: A Systematic review of *Campylobacter jejuni* vaccine candidates for chickens, *Microorganisms*, 9, 397 (2021)
- 43) Li S, He Y, Mann DA, Deng X: Global spread of *Salmonella* Enteritidis via centralized sourcing and international trade of poultry breeding stocks, *Nat Commun*, 12, 5109 (2021)
- 44) Gormley FJ, Bailey RA, Watson KA, McAdam J, Avendaño S, Stanley WA, Koerhuis AN: *Campylobacter* colonization and proliferation in the broiler chicken upon natural field challenge is not affected by the bird growth rate or breed, *Appl Environ Microbiol*, 80, 6733-6738 (2014)
- 45) Stern NJ, Fedorka-Cray P, Bailey JS, Cox NA, Craven SE, Hiatt KL, Musgrove MT, Ladely S, Cosby D, Mead GC: Distribution of *Campylobacter* spp. in selected U.S. poultry production and processing operations, *J Food Prot*, 64, 1705-1710 (2001)

プロフィール

大阪府出身。1998年に北里大学獣医畜産学部獣医学科を卒業後、2002年に大阪府立大学大学院農学生命科学研究科博士課程を修了、博士（獣医学）取得。大学院在籍中から米国農務省Beltsville農学研究センター（メリーランド州）に留学、帰国後は帯広畜産大学原虫病研究センター研究員を経て、2005年より北里大学獣医畜産学部（現・獣医学部）助手。2006年に同講師、2013年に同准教授、2021年1月より帯広畜産大学獣医学研究部門教授、現在に至る。2008年より鶏病研究会専門委員、2017年より内閣府食品安全委員会専門委員を務める。2017年に第2回伊藤記念財団賞を受賞。

現在は、これまで行ってきた鶏群・鶏肉の食中毒菌汚染の制御に関する調査・研究を継続しながら、大学院の時から温め続けていたテーマである「病原体の感染に見られる宿主特異性と組織トロピズムがどのように決まるか」を明らかにすべく、鶏の法定伝染病である家禽チフスとひな白痢を対象として研究を進めています。不感を過ぎてもいまだ感いっぱいながら、現在の自分を形作る上で、これまでで得た経験と人間関係があらゆるところで繋がっていたのだとようやく理解（伏線を回収）し始めたところです。

研究室のウェブサイト：http://univ.obihiro.ac.jp/~okam_lab/

