

平成18年度厚生労働科学研究食品の安心・安全確保推進研究事業

分担研究報告書

細菌性食中毒の予防に関する研究

分担研究課題：鶏肉におけるカンピロバクター食中毒の予防に関する研究

分担研究者 山本 茂貴 国立医薬品食品衛生研究所

協力研究者 中馬 猛久 鹿児島大学

長谷川 専 三菱総合研究所

研究要旨

海外で行われたリスクアセスメントモデルについて検討し、カナダのモデルに従って、日本のデータをあてはめて定量的リスクアセスメントを行った。

食鳥処理プロセスにおける冷却水の塩素濃度管理、農場における感染予防対策、消費者教育による鶏肉の生食抑制および加熱調理の徹底、の4つの食中毒対策シナリオの中で塩素濃度管理が最も効果があった。

定量的リスクアセスメントは講じるべきリスク管理措置を把握する上で非常に有効であることが確認された。

カンピロバクターは鶏が主な保菌動物であり、農場段階での調査を行った。2003年度から2006年度の調査の合計で184農場中84農場（45.7%）がカンピロバクター陽性であった。2006年度のみでは陽性率70%と高率であった。個体ごとでは2003から2006年度の合計で2943羽中386羽（13.1%）が陽性であった。2003年度から2006年度の合計で386株中152株（39.4%）がナリジクス酸に耐性を示した。

A. 研究目的

近年、細菌性食中毒の予防対策にはリスクアセスメントの手法を用いた科学的な知見が世界的に求められている。そこで、我が国においても、主要な細菌性食中毒の原因菌および食品を対象に、その汚染頻度や高汚染食品を把握するとともに食中毒の発症菌量を調べ、これらの結果をもとに我が国独自の微生物学的リスクアセスメントを試みる必要がある。

本研究では、世界的にも、また我が国においても発生件数が増加したカンピロバク

ター食中毒について、そのリスクプロファイルを行うとともに、汚染実態調査によりデータ収集し、定量的リスク評価を行うことを目的とする。また、本菌の食品や環境中での挙動について調べる。とくに、本菌の形態がらせん状から球状に変化（コッコイド化）した菌に着目する。この形態の菌体は人工培地での増殖能を欠いているが、再び元のらせん状桿菌に戻り増殖能を回復する可能性をもつことから、本菌の感染経路を考える上で重要な問題となっている。

このことから、コッコイド化した菌につ

いて詳細に解析し、食中毒につながる汚染拡大や菌の伝播との関連性について知見を得ることを目的とする。本研究によって、カンピロバクター食中毒に関わる食品のリスクを明らかにし、その制御方法に関する科学的根拠を提供することが期待される。

18年度の研究においては、諸外国のリスクアセスメントを精査し、日本のデータを用いて定量的リスクアセスメントを行った。定量的リスクアセスメントモデルの解析及び日本モデルへの応用については、(株)三菱総合研究所に委託した。また、ブロイラー飼育農家での汚染率を調査した。

B. 研究方法

1. 定量的リスクアセスメント

カナダのリスクアセスメントモデルをレビューし、解析した。

日本のデータは発症菌量に関するデータが不足していることから、暴露リスクを中心にリスクアセスメントを行った。

ベースラインを推計し、その後予防対策を行った場合の効果を仮定して最終暴露リスクを推定した。

予防対策としては、冷却水の塩素濃度、農場における感染予防対策、消費者教育の実施（加熱調理の徹底、生食抑制）、すべての食中毒対策の実施として、対ベースラインケース 50%値を求めた。

2. ブロイラー農場でのカンピロバクター汚染実態

鹿児島県下のブロイラー飼育農場から食鳥処理場に搬入されたブロイラーの盲腸内容物をプレストンブロス、バツラー寒天培地でそれぞれ42℃48時間増菌選択培養し、常法に従い同定を行い、菌株を収集し

た。鹿児島県下のブロイラー飼育農場から食鳥処理場に搬入されたブロイラーの盲腸内容物をプレストンブロス、バツラー寒天培地でそれぞれ42℃48時間増菌選択培養し、常法に従い同定を行い、菌株を収集した。2週ごとに2農場2鶏群ずつ（1鶏群16羽）調査した。ナリジクス酸感受性はディスク法（30μg）で調べた。また、12農場19鶏群における出荷1週間前のブロイラーから総排泄腔スワブ（1鶏群あたり10または12サンプル）を得て、同様な調査を実施した。

C. 研究結果

1. 定量的リスクアセスメント

カナダの定量的リスクアセスメントモデルに従い日本のデータを可能な限り適用して推計を行った。詳細については、別添資料に記載した。

ベースラインデータとして、日本は冷却水に塩素を添加しているが、適正な濃度が保たれていないと仮定した。その結果、冷却水中でのカンピロバクターの菌数変化（対数値）は、カナダのモデル同様に三角分布を適用し、Triang(-2.5, -1.28, -0.25)と推定された（別添 図4-1）。

次に、農場における感染予防対策を実施した場合の推計は、対策の具体策については言及せずに何らかの対策がとられたと仮定して、原稿の汚染率 88.3%（農場での調査データによる）が 75%、50%、25%、および10%に低下した場合を想定して検討した。汚染率の分布はベータ分布に従うと考えられた（別添 表4-1）。

また、消費者教育を実施した場合の暴露リスクの変化について検討するため、不十

十分な加熱調理を現状の 50%程度に減少させた場合と生食の回数を月 1 回程度から年 1 回程度に減少した場合を仮定した。

暴露経路が不十分な加熱調理、生食、交差汚染のいずれかで起こる場合に、ベースラインの最大暴露量と最小暴露量の差がそれぞれ 3.3 オーダー、1.6 オーダー、1.5 オーダーと分布の幅が広いことから、暴露リスクには大きな不確実性と変動性があるといえる（別添 表 4-2）。

冷却段階における塩素濃度管理の徹底を図った場合、3 種類いずれの経路による暴露リスクの 50%値（別添 表 4-3）も 36% 低減していた。

農場における感染予防対策を実施した時の暴露リスクは、農場での汚染率が 75%の場合 94%に減少した。以下、汚染率が 50%、25%、10%に減少した場合、暴露リスクはそれぞれ、78~79%、53~54%、約 27%に低減した（別添 表 4-4）。

消費者教育として加熱調理を徹底した場合の不十分な加熱調理による暴露リスクは 51%に低減していた（別添 表 4-5）。

また、生食の抑制はベースケースの約 47%に低減していた（別添 表 4-6）。

4つの食中毒対策をすべて実施した場合、農場における汚染率が 75%に減少した場合、不十分な加熱調理および生食による暴露リスクはベースケースに比べて、16~17%に減少し、交差汚染を通じた暴露リスクは 34%に低減する。農場における汚染率が 50%に減少した場合、不十分な加熱調理および生食による暴露リスクは 13~14%に低減し、交差汚染を通じた暴露リスクは 28%に低減する。農場における汚染率が 25%に減少した場合、不十分な加熱調理および生食によ

る暴露リスクは 9~10%に低減し、交差汚染を通じた暴露リスクは 19%に低減する。農場における汚染率が 10%に減少した場合、不十分な加熱調理および生食による暴露リスクは 5%に低減し、交差汚染を通じた暴露リスクは 10%に低減する（別添 表 4-7）。

2. ブロイラー農場でのカンピロバクター汚染実態

盲腸内容物からのカンピロバクター分離頻度を表 1 に示した。2003 年度から 2006 年度の調査の合計で 184 農場中 84 農場（45.7%）がカンピロバクター陽性であった。2006 年度のみでは陽性率 70%と高率であった。個体ごとでは 2003 から 2006 年度の合計で 2943 羽中 386 羽（13.1%）が陽性であった。分離された菌株のナリジクス酸耐性状況を表 2 に示した。2003 年度から 2006 年度の合計で 386 株中 152 株（39.4%）がナリジクス酸に耐性を示した。2006 年度ではカンピロバクター・コリの分離株がカンピロバクター・ジェジュニの分離株数より少なかったにもかかわらず、ナリジクス酸に対する耐性率はコリが 64.5%（76 株中 49 株）、ジェジュニが 29.8%（131 株中 39 株）とコリの方が高い耐性率を示した。

出荷 1 週間前のブロイラー総排泄腔スワブにおけるカンピロバクターの分離率は表 3 に示すように 77.0%（196 検体中 151 検体）であった。ナリジクス酸耐性株は 151 株中 38 株（25.2%）であった。19 農場中 17 農場から菌が分離され、分離された株がすべて耐性であった農場が 3 農場、すべて感受性であった農場が 10 農場、両者が分離された農場が 4 農場

であった。

D. 考察

1. 定量的リスクアセスメント

ベースケースにおける各暴露経路での暴露リスクを比較すると生食と交差汚染は十分な加熱調理に比べて圧倒的に大きい。

冷却段階での塩素濃度管理は、すべての暴露経路に対して暴露リスクをベースケースの約 36%に低減させるので、最も有効な食中毒対策であると考えられる。

農場における感染予防対策は暴露リスクを確実に低減化するがどのような対策をとればどこまで感染率を下げるかは不明である。冷却段階での塩素濃度管理と同等の効果を上げるためには、感染率を現行の 88.3%から 20%程度にまで大幅に引き下げなければならない。

消費者教育のうち生食の抑制は食文化の関係から効果が期待しにくい。加熱調理の徹底は時間がかかるが教育方法を検討し、中長期にわたり、継続的に実施する必要がある。

2. ブロイラー農場でのカンピロバクター汚染実態

本調査では無作為に農場を選び材料の収集を実施しているが、年度ごとにそれぞれの陽性率ばらつきが生じた。年度ごとに大きな衛生管理方法の転換は実施されておらず、これらの値のばらつきが何らかの因子によるものなのかどうかは言及しがたい。疫学的解析にはさらに多数のサンプル確保が必要かもしれない。2006年度までの4年間では約半数の農場由来の盲腸内容からカンピロバクターが分離され、個体別では約13%の分離率であった。一方、農場

に赴き総排泄腔スワブを採取し培養すると19農場中17農場がカンピロバクター陽性という結果になり、個体別でも77%と高率になった。このことから、調査材料の収集方法によっても菌の分離率が大きく影響されるものと考えられる。

E. 結論

1. 食鳥処理プロセスにおける冷却水の塩素濃度管理、農場における感染予防対策、消費者教育による鶏肉の生食抑制および加熱調理の徹底の4つの食中毒対策シナリオのなかで、塩素濃度管理が最も効果があった。
2. 定量的リスクアセスメントはこうじるべきリスク管理措置を把握する上で非常に有効であることが確認された。
3. ブロイラー農場におけるカンピロバクターの流行要因には不明な点が多く、解析には適切な方法と十分なサンプル数が必要であろう。本調査ではカンピロバクター分離率、ナリジクス酸に対する耐性率の両者ともに高い値を維持しており、今後もモニターを続け、菌の流行や耐性獲得に関わる因子を解析していく必要がある。

F. 健康危機情報

特になし

G. 研究発表

(ア) 論文発表

特になし

(イ) 学会発表

特になし

D. 知的財産権の出願・登録状況

なし

別添

カンピロバクターのリスクアセスメント支援業務 報告書

平成 1 9 年 3 月

MRI 株式会社 三菱総合研究所

－ 目 次 －

1. 序章.....	1
1.1 背景.....	1
1.2 目的.....	1
1.3 構成.....	1
1.4 視点.....	2
2. Health Canada のリスクアセスメントモデルのレビュー.....	3
2.1 モデルの概要.....	3
2.2 農場における鶏のカンピロバクター密度の推定.....	5
2.3 輸送中のカンピロバクター密度の推定.....	6
2.4 食鳥処理プロセスにおけるカンピロバクター密度に与える影響の推定.....	7
2.5 鶏の汚染率.....	16
2.6 食鳥処理後のカンピロバクター密度の推定および暴露リスクの推定.....	19
2.7 用量・反応分析.....	23
2.8 分析結果.....	25
2.9 結論.....	33
2.10 モデル概要.....	34
3. わが国の実態を反映したリスクアセスメントモデルの構築.....	37
4. 鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策のリスクアセスメント.....	47
5. まとめと今後の課題.....	54
5.1 まとめ.....	54
5.2 今後の課題.....	54

1. 序章

1.1 背景

近年、細菌性食中毒の予防対策にはリスクアセスメントの手法を用いた科学的な知見が世界的に求められている。

一方、近年、カンピロバクターによる食中毒は他の病原菌によるものと比較して増加傾向にあり、発生原因として鶏肉の関与が多く指摘されている。鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒のリスクアセスメントモデルについては、Health Canadaにおいて確率論的なリスクアセスメントモデルが構築され、リスクコントロール措置に関する定量的な分析が行われている。しかしながら、これらのリスクアセスメントモデルにおいては、農場における鶏のカンピロバクターの汚染状況や鶏肉処理の方法、そしてわが国には鶏肉を生食するという独特の喫食形態が存在することなど、わが国の諸状況が必ずしも適切に反映できていないといえない。また、鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策として着目すべきリスクコントロール措置も異なる面がある。

1.2 目的

本研究においては、Health Canadaのリスクアセスメントモデルをベースに、わが国における鶏肉処理の実態や、農場における鶏のカンピロバクター汚染状況、喫食形態を反映したリスクアセスメントモデルを構築した上で、鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策のリスクアセスメントを実施することで、鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策に関する基礎的資料とすることを目的とする。

1.3 構成

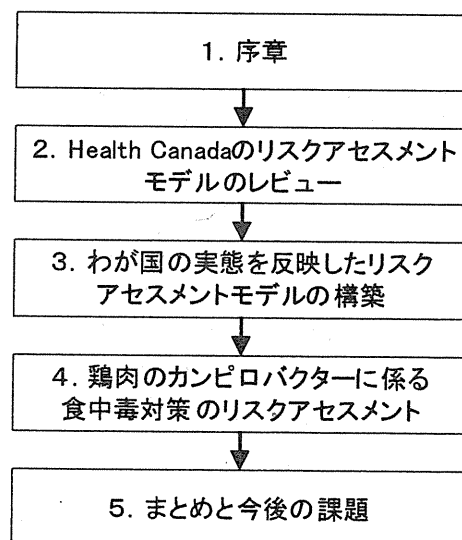


図 1-1 本報告書の構成

1.4 視点

(1) 既存のリスクアセスメントモデルの活用

さまざまなデータを用いて既に確立されている、Health Canada による鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策のリスクアセスメントモデルを活用してリスクアセスメントモデルを構築する。

(2) わが国の実態を反映したリスクアセスメントモデルの構築

Health Canada による鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策のリスクアセスメントモデルをベースとしつつも、わが国において収集された農場における鶏のカンピロバクター汚染データを用いるとともに、わが国の鶏肉処理方法、鶏肉の喫食形態などを踏まえるなどの改良を行うことで、わが国の実態を反映したリスクアセスメントモデルを構築する。

なお、モデルの構築にあたり、わが国のデータが収集されていない事項については、Health Canada のリスクアセスメントモデルにおいて採用されている値を用いることとする。

(3) 暴露リスクに関するリスクアセスメントモデルの構築

Health Canada のリスクアセスメントモデルにおいては、鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒の発生確率までも推定している。しかし、特に用量・反応 (Dose-Response) モデルの推定については、利用可能なデータが十分でないという問題点や、海外の用量・反応モデルをそのままわが国に適用することが妥当であるかについて疑問が残る。[91]そこで、リスクアセスメントモデルは暴露リスク (Exposure Risk) までに留めることとする。

(4) 現実にとり得る食中毒対策のシナリオ設定によるリスクアセスメント

わが国における鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒に対して、現実にとり得る対策のシナリオをいくつか設定し、各シナリオについて暴露リスクのリスクアセスメントを実施することにより、鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策に関する基礎的資料とする。

2. Health Canada のリスクアセスメントモデルのレビュー

ここでは、わが国における鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒のリスクアセスメントモデルを構築するために、既に Health Canada によって構築されているリスクアセスメントモデル¹をレビューする。

2.1 モデルの概要

Health Canada のリスクアセスメントモデルは、単にカンピロバクターによる食中毒リスクを推定するだけにとどまらず、フードチェーンシステムの変更と情報収集の双方に係る意思決定の支援ツールとして構築・使用することを目的としている。

このため、モデル化のアプローチとしては、プロセスリスクモデリングアプローチ (PRM Approach: Process Risk Modeling Approach) が採用されており、Farm-to-folk (農場から食卓まで) の各プロセスについてハザードの変化をモデル化している。

モデル化されている Farm-to-folk のプロセスの概要は以下のとおりである。また、モデルの構造を図 2-1 に示す。

- ・ 農場における鶏の汚染状況 (輸送直前)
- ・ 輸送中の鶏の汚染状況の推定 (輸送後の汚染水準の推定のため)
 - 汚染鶏の有病率とともに食鳥処理プロセスのリスクモデルへの入力値として利用
- ・ 食鳥処理: 重要な 5 段階を選定しモデル化²
 - 湯漬(scalding)
 - 脱羽(defeathering)
 - 中抜き(evisceration)
 - 洗浄(washing)
 - 冷却(chilling)
- ・ 食鳥処理後: 冷蔵保存による減少
 - 鶏に付着して家庭に持ち込まれるカンピロバクター濃度の推定に利用
- ・ 家庭:
 - 喫食による感染リスク
 - 交差汚染による感染リスク

¹ A Quantitative Risk Assessment Model for C.jejuni in Fresh Poultry, Aamir M. Fazil, Ruff Lowman, Norman Stern, Anna M. Lammerding, Health Canada, 1999.12

² カンピロバクターは屠殺後に増殖しないため、屠殺後のプロセスについては、カンピロバクターの生残や減少、食鳥処理過程を通じた交差汚染による増加が問題となる。

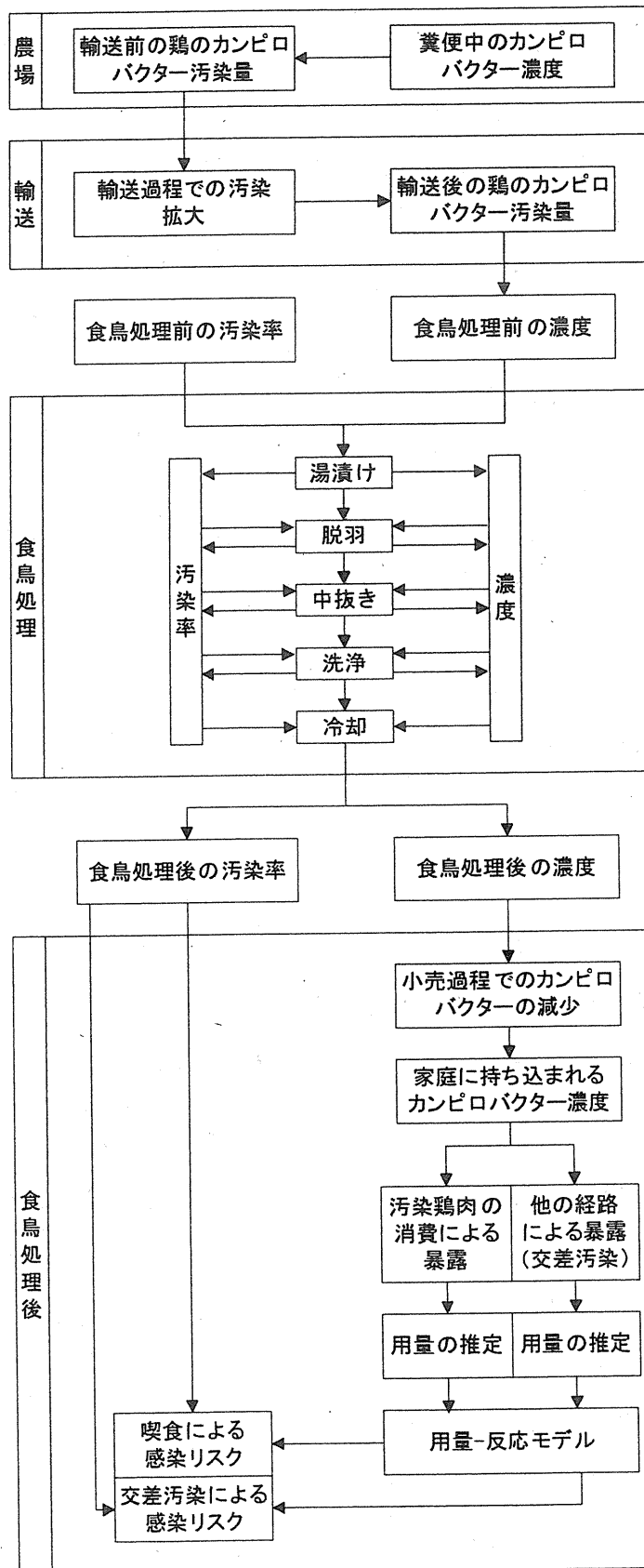


図 2-1 Health Canada のリスクアセスメントモデルの構造

2.2 農場における鶏のカンピロバクター濃度の推定

農場における鶏のカンピロバクター濃度 C_{F1} ($\log(\text{CFU}/\text{羽})$) は、糞便中のカンピロバクター濃度 C_{f_F} ($\log(\text{CFU}/\text{g})$) と、輸送前の鶏の体表に付着する糞便汚染量 fb_F ($\log(\text{g}/\text{羽})$) の和として推定されている。

(1) 糞便中のカンピロバクター濃度の推定

糞便中のカンピロバクター濃度の確率分布は、Stern et al.(未公表データ)の 20 農場×50 サンプル=1000 サンプルの糞便中のカンピロバクター濃度データ (図 2-2) に基づいて推定している。

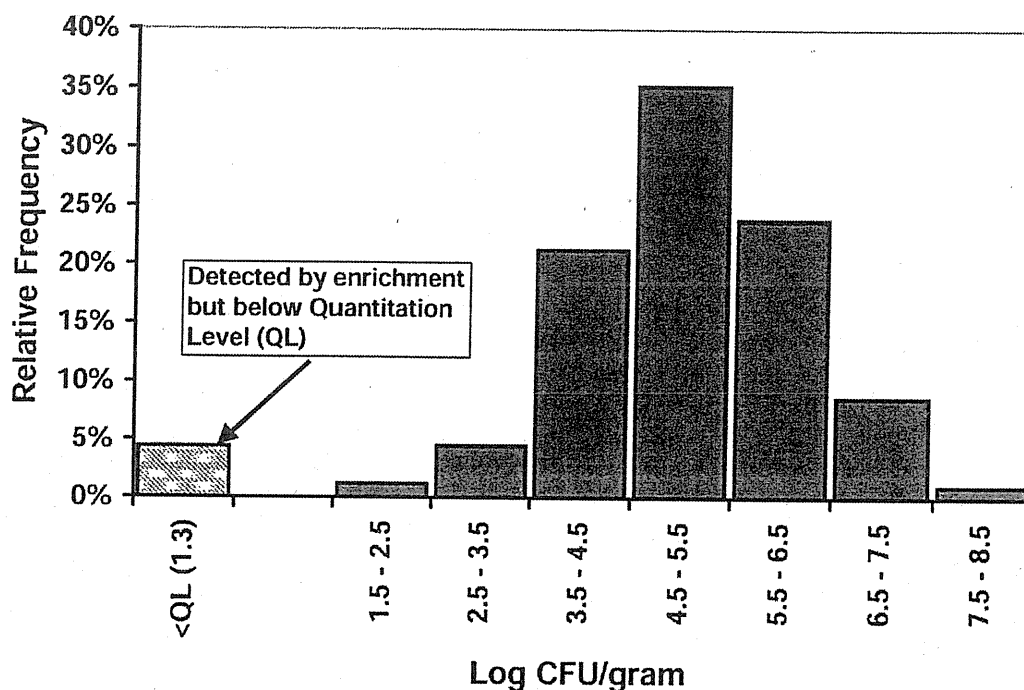


図 2-2 糞便中のカンピロバクター濃度データ

検出限界以下のデータの取り扱いによって5つのパラメータ推定方法があるが、ここでは、母集団が正規分布に従うことを仮定する Cohen の方法を適用して、次式の正規分布として推定している。

糞便中のカンピロバクター濃度 : $C_{f_F} \sim \text{Normal}(4.95, 1.38) \quad \log(\text{CFU}/\text{g})$

(2) 輸送前の鶏の体表に付着する糞便汚染量の推定

鶏の体表（皮膚、羽根）に付着するカンピロバクター汚染量の確率分布については、これを推定するためのデータは十分でないものの、糞便中のカンピロバクター濃度に比べればリスクアセスメントへの影響力が小さいという割り切りで、次式の一様分布を仮定している。

輸送前の鶏の体表に付着する糞便汚染量：fb_F ~ Uniform(0.50, 5.00) g/羽

(3) 農場における鶏のカンピロバクター濃度の推定

(1)、(2) より、農場における鶏のカンピロバクター濃度の確率分布は次式で表される。

農場における鶏のカンピロバクター濃度：C_F1 = Cf_F + log(fb_F) log(CFU/羽)

2.3 輸送中のカンピロバクター濃度の推定

鶏を食鳥処理場に輸送する過程においては、鶏の体表に付着したカンピロバクターの交差汚染とカンピロバクター自身の増殖の双方が起こる。

Stern (1995) では、10 農場の 20 サンプルの鶏を用いた輸送実験において、輸送前後での鶏のカンピロバクター濃度から、輸送による汚染量の増大を計測している（表 2-1）。

表 2-1 輸送実験の結果

鶏の平均カンピロバクター汚染量 (log (CFU/carcass))			備考
農場数	輸送前	輸送後	
6 農場	6.11	7.8	・ 1.7log の汚染量増大 ・ 農場ベースでは汚染量増大に 1.3～2.3log の大きなばらつき（変動性）あり
3 農場	非検出	7.13	輸送前の鶏が非汚染鶏であったわけではない（輸送前の鶏の腸管サンプルからカンピロバクターを検出）。
1 農場	非検出	非検出	輸送前に非汚染だった鶏を非汚染のまま食鳥処理場に輸送できる可能性を示唆。

汚染鶏の輸送によるカンピロバクターの汚染量の増大 Mag_T (log CFU) は、この輸送実験データのうち、輸送前後にカンピロバクターを検出した 6 農場のデータ（図 2-3）を用いるとともに、データ以上に大きな変動性が存在することを考慮して、次式の三角分布として推定されている。

汚染鶏の輸送によるカンピロバクターの汚染量の増大：
Mag_T ~ Triang(0, 1.5, 3.0) log CFU

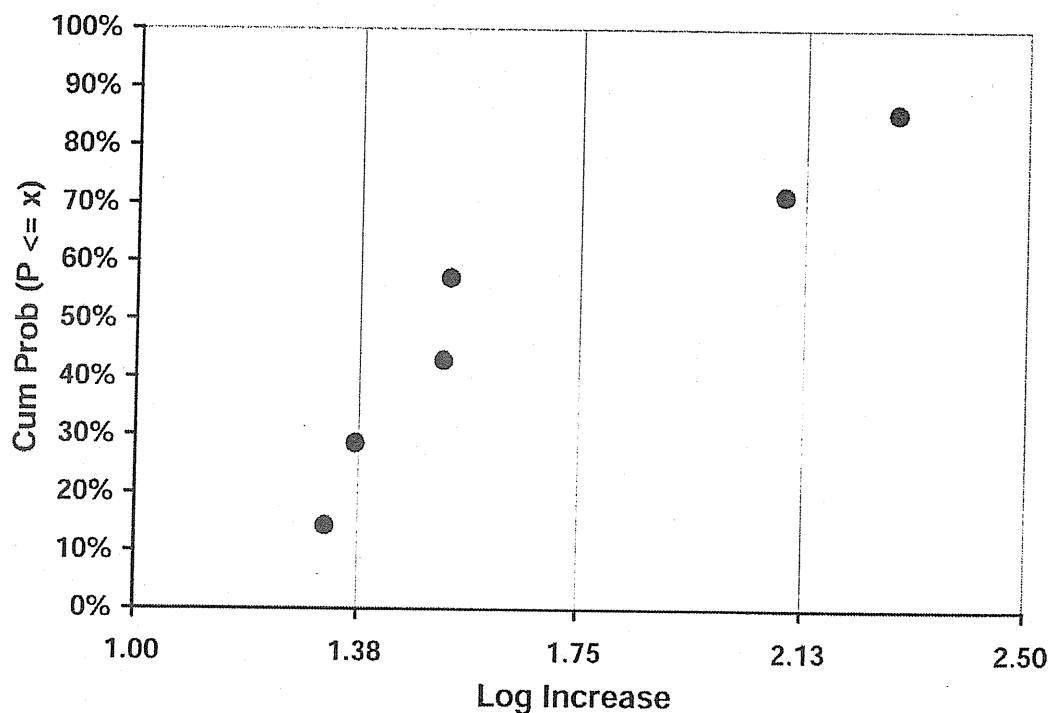


図 2-3 6農場の汚染鶏の輸送前後でのカンピロバクターの汚染量の増大データ

2.4 食鳥処理プロセスにおけるカンピロバクター濃度に与える影響の推定

(1) 湯漬(Scalding)

湯漬は脱羽を容易にすることを主目的とする食鳥処理過程である。湯漬の過程は、体表のカンピロバクター濃度に大きな影響を与える。

湯漬には、用いられる湯水の温度が 55℃以下の弱湯漬 (Soft Scalding) と 55℃以上の強湯漬 (Hard Scalding) の2種類がある。米国は弱湯漬、カナダは強湯漬が一般的である³。

湯漬によって体表から洗い流されたカンピロバクターの挙動には次の3種類がある。

- ・湯の高温によって死滅
- ・あふれた湯とともに移動
- ・生残し、同一または別の鶏に再付着

また、湯漬方式には、常にきれいな湯に鶏を曝すカウンターカレント方式と、湯の入れ替えをせずに同じ湯に鶏を曝す伝統的方式がある。しかし、カウンターカレント方式の効果をモデル化する上で十分な情報がないためモデル化されていない⁴。

³ 日本では 58～60℃での湯漬が一般的であり、強湯漬に該当する。

⁴ 日本では伝統的方式がとられている。

1) 弱湯漬

弱湯漬によるカンピロバクター濃度の対数変化 Effect_Scald(SS)の確率分布は、表 2-2 に示すデータに基づき、最小値-3.5、最大値 0.25 の三角分布に適合させることで、次式のように推定されている（図 2-4）⁵。

弱湯漬によるカンピロバクター濃度の対数変化：

Effect_Scald(SS)~Triang(-3.50,-3.0,+0.25) logCFU/羽

表 2-2 弱湯漬によるカンピロバクター濃度の対数変化データ

Samples	Author	Sample Point	Mean Log CFU/unit	Sample Point	Mean Log CFU/unit	Mean Log Change
8	(Izat et al, 1988).	Pre Scald	3.74	Post Scald	< 1.26	-3.11
8	(Izat et al, 1988).	Pre Scald	3.56	Post Scald	1.26	-2.30
8	(Izat et al, 1988).	Pre Scald	3.03	Post Scald	1.19	-1.84
8	(Ooesterom et al, 1983).	Post Bleed	3.99	Post Scald	1.37	-2.62
8	(Ooesterom et al, 1983).	Post Bleed	3.30	Post Scald	1.68	-1.62
8	(Ooesterom et al, 1983).	Post Bleed	2.18	Post Scald	2.4	0.22
5	Berrang, M. (unpublished)	Pre Scald	2.90	Post Scald	1.0	-1.90
5	Berrang, M. (unpublished)	Pre Scald	5.00	Post Scald	2.0	-3.00
5	Berrang, M. (unpublished)	Pre Scald	5.00	Post Scald	1.7	-3.30
5	Berrang, M. (unpublished)	Pre Scald	3.10	Post Scald	2.4	-0.70
5	Berrang, M. (unpublished)	Pre Scald	5.80	Post Scald	2.4	-3.40
5	Berrang, M. (unpublished)	Pre Scald	4.60	Post Scald	1.5	-3.10

※Ooesterom et al. (1983)の正の変化は交差汚染を意味する。

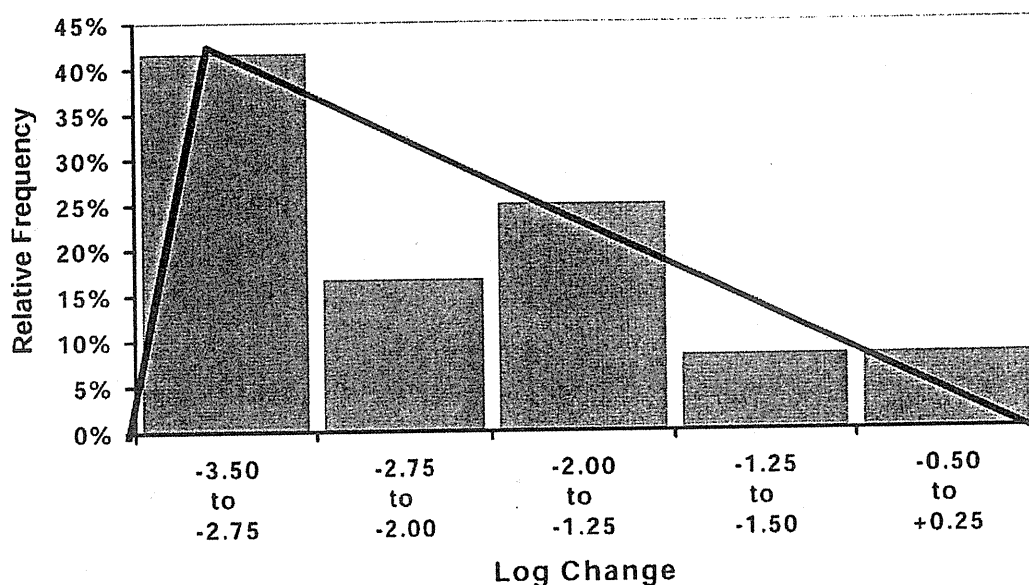


図 2-4 弱湯漬によるカンピロバクター濃度の対数変化の三角分布への適合

⁵ 分布へのデータの適合手法は不明であるが、@Risk による適合分布は Triangular(-3.50,-3.4,+0.25)。

2) 強湯漬

強湯漬の効果に影響を与える重要な要素は、洗浄効果と高温による不活化効果である。このうち、洗浄効果は弱湯漬と同程度である。また、理論的には高温下でカンピロはほとんど生残しない。

強湯漬によるカンピロバクター濃度の対数変化 Effect_Scald(HS)の推定に活用可能なデータはほとんどない。表 2・3 に示す Ooesterom et al. (1983)のデータに基づき、以下のように仮定している。

- ・分布形状は弱湯漬に類似
- ・濃度の増加はなく、少なくとも-0.75log は減少する
- ・最大値は-4 log、最確値は-3.5log。

ように推定されている。

強湯漬によるカンピロバクター濃度の対数変化：
Effect_Scald(HS)~Triang(-4.00,-3.5,-0.75) logCFU/羽

表 2-3 強湯漬によるカンピロバクター濃度の対数変化データ

Samples	Author	Sample Point	Mean Log CFU/unit	Sample Point	Mean Log CFU/unit	Mean Log Change
8	(Ooesterom et al, 1983).	Post Bleed	2.39	Post Scald	0.61	-1.78
8	(Ooesterom et al, 1983).	Post Bleed	3.42	Post Scald	1.25	-2.17
8	(Ooesterom et al, 1983).	Post Bleed	3.44	Post Scald	1.26	-2.18

(2) 脱羽(Defeathering)

脱羽過程は、交差汚染が多く発生する過程として認識されている。これは、汚染鶏を脱羽すると、脱羽機等にカンピロバクターが付着し、その後に脱羽される多数の鶏を汚染するためである。また、毛穴から羽根を除去する脱羽機の動きは、カンピロバクターを毛穴の深くに落とし込み、閉じ込め、除去することを困難にもする。従って、湯漬の過程でカンピロ濃度を減少させても、脱羽の過程で鶏の体表に新たな汚染をもたらす可能性がある。

脱羽過程の汚染プロセスは、湯漬とは異なり、菌種に固有のものではないことから、他の菌種に関するデータも利用することができる。脱羽による菌濃度の対数変化が従う分布については、カンピロバクターに係るデータのみを用いた場合と、カンピロバクター以外の菌種も含めたデータを用いた場合の双方について検討され、最終的には後者が採用されている。

カンピロバクター濃度の対数変化に係るデータ (表 2・4)では、脱羽による顕著な汚染レベルの増大が認められる。ただし、-0.25~+3 log にわたる大きなばらつきが指摘されている。その要因としては、処理プラント固有の変動性や実験に由来する不確実性が挙げられている。また、カンピロバクター以外の菌種も含めた菌濃度の対数変化に係るデータ(表 2・5)では、腸内細菌で脱羽による汚染レベルの減少が見られる。理由は不明とされている。脱羽による鶏の体表におけるカンピロ汚染レベルの顕著な減少は考えにくいですが、例えば、脱羽機内の水

圧やひどく汚染された羽根の除去などによる若干の減少はあり得るとしながらも、 $-1.75 \log$ という平均値データは稀少事象であり、データ分析から除外されている。

表 2・4 および表 2・5 のデータから、脱羽によるカンピロバクター濃度の対数変化は、最大 $3.0 \log$ 、最確値 $0.25 \sim 0.75 \log$ 、最小 $-1.0 \log$ の三角分布に従うものと推定されている。最確値は幅の真ん中を取って $0.5 \log$ と設定されている。

脱羽によるカンピロバクター濃度の対数変化：

Effect_Def ~ Triang($-1.0, 0.5, 3.0$) $\log \text{CFU/羽}$

表 2-4 脱羽によるカンピロバクター濃度の対数変化データ

Samples	Author	Sample Point	Mean $\log \text{CFU/unit}$	Sample Point	Mean $\log \text{CFU/unit}$	Mean $\log \text{Change}$
8	Ooesterom et al 1983	After Scald (>55)	0.61	After Defeather	1.07	0.46
8	Ooesterom et al 1983	After Scald (>55)	1.25	After Defeather	1.99	0.74
8	Ooesterom et al 1983	After Scald (>55)	1.26	After Defeather	2.85	1.59
8	Ooesterom et al 1983	After Scald (<55)	1.37	After Defeather	2.46	1.09
8	Ooesterom et al 1983	After Scald (<55)	1.68	After Defeather	2.09	0.41
8	Ooesterom et al 1983	After Scald (<55)	2.40	After Defeather	2.18	-0.22
8	(Izat et al 1988).	Post Scald (< 55)	<1.26	Post Pick	2.37	1.74
8	(Izat et al 1988).	Post Scald (< 55)	1.26	Post Pick	3.68	2.42
8	(Izat et al 1988).	Post Scald (< 55)	1.19	Post Pick	2.82	1.63
5	Berrang, M. (review)	Post Scald (< 55)	1.00	Post Pick	<3	0.50
5	Berrang, M. (review)	Post Scald (< 55)	2.00	Post Pick	3.20	1.20
5	Berrang, M. (review)	Post Scald (< 55)	1.70	Post Pick	4.50	2.80
5	Berrang, M. (review)	Post Scald (< 55)	2.40	Post Pick	3.10	0.70
5	Berrang, M. (review)	Post Scald (< 55)	2.40	Post Pick	4.10	1.70
5	Berrang, M. (review)	Post Scald (< 55)	1.50	Post Pick	3.70	2.20

表 2-5 脱羽によるカンピロバクター以外の菌濃度の対数変化データ

Samples	Author	Organism	Sample Point	$\log \text{CFU/unit}$	Sample Point	$\log \text{CFU/unit}$	$\log \text{Change}$
54	Lillard 1990	aerobic	After Scald (<55)	8.05	After Defeather	7.37	-0.68
30	Berrang, M. (review)	aerobic	Post Scald (< 55)	5.00	Post Pick	5.00	0.00
30	Berrang, M. (review)	Coliform	Post Scald (< 55)	2.90	Post Pick	3.40	0.50
30	Berrang, M. (review)	<i>E.coli</i>	Post Scald (< 55)	2.10	Post Pick	2.80	0.70
8	Ooesterom et al 1983	enterobacteriaceae	After Scald (>55)	4.10	After Defeather	3.97	-0.13
8	Ooesterom et al 1983	enterobacteriaceae	After Scald (>55)	3.20	After Defeather	2.90	-0.30
8	Ooesterom et al 1983	enterobacteriaceae	After Scald (>55)	3.67	After Defeather	3.69	0.02
8	Ooesterom et al 1983	enterobacteriaceae	After Scald (<55)	4.69	After Defeather	2.94	-1.75
8	Ooesterom et al 1983	enterobacteriaceae	After Scald (<55)	4.42	After Defeather	3.69	-0.73
8	Ooesterom et al 1983	enterobacteriaceae	After Scald (<55)	5.03	After Defeather	4.16	-0.87
54	Lillard 1990	enterobacteriaceae	After Scald (<55)	5.92	After Defeather	5.92	0.00

(3) 中抜き(Evisceration)

中抜き過程においては、次の2つの要因で交差汚染が発生する。

- ・ 内臓を取り出す過程における腸管の切断や粗暴な取り扱いによる糞便汚染の拡大
- ・ 汚染鶏の体表から手や器材、器具にカンピロバクターが付着し、その後、他の鶏に付着

中抜き過程のモデルには、脱羽から最終的な洗浄までに生起する全ての事象を織り込んでいる。この過程では、汚染レベルの増加・減少の報告はあるが、冷却前の最終洗浄プロセスに先立つ器材・鶏肉のすすぎ洗いを除いて、実質的な汚染除去ステップはない。

中抜き過程の汚染プロセスは、脱羽と同様に、菌種に固有のものではないため、他の菌種に関するデータも利用することができる。中抜きによる菌濃度の対数変化が従う分布については、カンピロバクターに係るデータのみを用いた場合と、カンピロバクター以外の菌種も含めたデータを用いた場合の双方について検討され、最終的には後者が採用されている。

カンピロバクター濃度の対数変化に係るデータ(表 2・6)では、大きなばらつきがあり、明確に認識可能なパターンはないとされている。カンピロバクターの減少は通常 0.25 log 未満であり、Berrang(unpublished)のデータのみ 0.5log 未満のデータが報告されている。カンピロバクター以外の菌種も含めた菌濃度の対数変化に係るデータ(表 2・7)では、菌濃度が増加しているデータと減少しているデータがほぼ同数ある。これは、大きな不確実性と変動性に起因するものとされている。減少データは 0.0~-0.25 log、増加データはやや幅が広いが 0.0~+2.0 log に集中している。脱羽~洗浄のプロセスで 0.5 log より大きい減少を正当化することは困難であるとして、この値より大きい減少データは分析から除外されている。

また、カンピロバクターに係るデータとカンピロバクター以外の菌種も含めたデータでは、最大値のみ後者が右にシフトし、最頻値のレンジは-0.25~0.25 とほぼ同じになっている。

表 2・6 および表 2・7 のデータから、中抜きによるカンピロバクター濃度の対数変化は、最大 2.0log、最確値-0.25~0.25log、最小-0.5log の三角分布に従うものと推定されている。最確値は幅の真ん中を取って 0 log と設定されている。

中抜きによるカンピロバクター濃度の対数変化：

Effect_Evisc~Triang(-0.5,0,2.0) logCFU/羽

表 2-6 中抜きによるカンピロバクター濃度の対数変化データ

Samples	Author	Sample Point	Log CFU/unit	Sample Point	Log CFU/unit	Log Change
8	Ooesterom et al 1983	After Defeather	1.07	After Evisceration	2.58	1.51
8	Ooesterom et al 1983	After Defeather	1.99	After Evisceration	2.44	0.45
8	Ooesterom et al 1983	After Defeather	2.85	After Evisceration	2.60	-0.25
8	Ooesterom et al 1983	After Defeather	2.46	After Evisceration	2.24	-0.22
8	Ooesterom et al 1983	After Defeather	2.09	After Evisceration	2.62	0.53
8	Ooesterom et al 1983	After Defeather	2.18	After Evisceration	2.50	0.32
8	Izat et al 1988	Post Pick	2.37	Post Viscera Removal	3.12	0.75
8	Izat et al 1988	Post Pick	3.68	Post Viscera Removal	3.49	-0.19
8	Izat et al 1988	Post Pick	2.82	Post Viscera Removal	3.49	0.67
5	Berrang (unpublished)	Post Pick	< 3.00	Post Evisceration	1.60	0.50
5	Berrang (unpublished)	Post Pick	3.20	Post Evisceration	3.20	0.00
5	Berrang (unpublished)	Post Pick	4.50	Post Evisceration	3.70	-0.80
5	Berrang (unpublished)	Post Pick	3.10	Post Evisceration	2.53	-0.57
5	Berrang (unpublished)	Post Pick	4.10	Post Evisceration	4.00	-0.10
5	Berrang (unpublished)	Post Pick	3.70	Post Evisceration	3.70	0.00
11	Abu-Ruwaida 1994	After Defeather	5.75	After Lung Sucking	5.70	-0.05

表 2-7 中抜きによるカンピロバクター以外の菌濃度の対数変化データ

Samples	Author	Organism	Sample Point	log CFU/unit	Sample Point	Log CFU/unit	Log Change
11	Abu-Ruwaida 1994	Aerobic	After Defeather	7.10	After Lung Sucking	7.20	0.10
54	Lillard 1990	Aerobic	Post Pick	7.37	Post Evisceration	6.76	-0.61
30	Berrang (unpublished)	Aerobic	Post Pick	5.00	Post Evisceration	4.50	-0.50
30	Berrang (unpublished)	Coliforms	Post Pick	3.40	Post Evisceration	3.10	-0.30
11	Abu-Ruwaida 1994	Coliforms	After Defeather	5.50	After Lung Sucking	5.45	-0.05
30	Berrang (unpublished)	E.coli	Post Pick	2.80	Post Evisceration	2.20	-0.60
11	Abu-Ruwaida 1994	E.coli	After Defeather	4.85	After Lung Sucking	4.95	0.10
8	Ooesterom et al 1983	Enterobacteriaceae	After Defeather	3.97	After Evisceration	5.73	1.76
8	Ooesterom et al 1983	Enterobacteriaceae	After Defeather	2.90	After Evisceration	3.60	0.70
8	Ooesterom et al 1983	Enterobacteriaceae	After Defeather	3.69	After Evisceration	4.86	1.17
8	Ooesterom et al 1983	Enterobacteriaceae	After Defeather	2.94	After Evisceration	3.86	0.92
8	Ooesterom et al 1983	Enterobacteriaceae	After Defeather	3.69	After Evisceration	3.60	-0.09
8	Ooesterom et al 1983	Enterobacteriaceae	After Defeather	4.16	After Evisceration	3.87	-0.29
54	Lillard 1990	Enterobacteriaceae	Post Pick	5.92	Post Evisceration	5.74	-0.18
11	Abu-Ruwaida 1994	Enterobacteriaceae	After Defeather	5.55	After Lung Sucking	5.35	-0.20

(4) 洗浄(Washing)

噴霧洗浄では、きれいな水によって、鶏の体表の汚染体液を除去するため、付着物や有機物と一部の微生物が除去される。洗浄による細菌の減少率は90%(1 log)に留まる。

洗浄の効果は、脱羽や中抜きと同様に、菌種に固有のものではないが、他の微生物はカンピロバクターよりも体表に緩く付着する。ただし、洗浄の有効性の相違を示す根拠は見当たらないため、データをレビューした上で、洗浄についても他の菌種も含めたデータに基づいて、カンピロバクター濃度の対数変化の分布を推定している。

洗浄によるカンピロバクター濃度の対数変化は、カンピロバクターに係るデータ(表 2-8)のみを用いた場合も、他の菌種のデータ(表 2-9)を用いた場合も、最大0log、最小-1.5log(95%値)、最確値-0.5logの三角分布に従うものと推定されている。ただし、Berrang(unpublished)の-2.4 logのデータは除外されている。

洗浄によるカンピロバクター濃度の対数変化：

Effect_Wash~Triang(-1.5,-0.5,0) logCFU/羽

表 2-8 洗浄によるカンピロバクター濃度の対数変化データ

Samples	Author	Sample Point	Mean Log CFU/unit	Sample Point	Mean Log CFU/unit	Mean Log Change
5	Berrang (unpublished)	Post Evisceration	1.60	Pre Chill	<1.00	-1.10
5	Berrang (unpublished)	Post Evisceration	3.20	Pre Chill	2.10	-1.10
5	Berrang (unpublished)	Post Evisceration	3.70	Pre Chill	3.30	-0.40
5	Berrang (unpublished)	Post Evisceration	2.53	Pre Chill	2.00	-0.53
5	Berrang (unpublished)	Post Evisceration	4.00	Pre Chill	1.60	-2.40
5	Berrang (unpublished)	Post Evisceration	3.70	Pre Chill	2.70	-1.00
8	Izat et al 1988	Pre Wash	2.83	Post Wash	1.71	-1.12
8	Izat et al 1988	Pre Wash	2.94	Post Wash	2.39	-0.55
8	Izat et al 1988	Pre Wash	3.50	Post Wash	3.04	-0.46
11	Abu-Ruwaida 1994	Post Evisceration	5.70	Post Wash	5.10	-0.60

表 2-9 洗浄によるカンピロバクター以外の菌濃度の対数変化データ

Samples	Author	Organism	Sample Point	Mean log CFU/unit	Sample Point	Mean log CFU/unit	Mean Log Change
54	Lillard 1990	Aerobic Bacteria	Post Evisceration	6.76	Pre Chill	6.46	-0.30
11	Abu-Ruwaida 1994	Aerobic Bacteria	Post Evisceration	7.20	Post Wash	6.15	-1.05
30	Berrang (unpublished)	Aerobic Bacteria	Post Evisceration	4.50	Pre Chill	3.60	-0.90
11	Abu-Ruwaida 1994	Coliform	Post Evisceration	5.45	Post Wash	5.15	-0.30
30	Berrang (unpublished)	Coliform	Post Evisceration	3.10	Pre Chill	2.20	-0.90
11	Abu-Ruwaida 1994	E.coli	Post Evisceration	4.95	Post Wash	4.50	-0.45
30	Berrang (unpublished)	E.coli	Post Evisceration	2.20	Pre Chill	1.50	-0.70
54	Lillard 1990	enterobacteriaceae	Post Evisceration	5.74	Pre Chill	5.50	-0.24
11	Abu-Ruwaida 1994	enterobacteriaceae	Post Evisceration	5.35	Post Wash	5.20	-0.15

(5) 冷却

冷却方法としては、次の3つがある。このうち、浸漬冷却が効果的かつ低コストなため、最もよく用いられている。

- ・冷水のタンクへの浸漬（浸漬冷却）
- ・冷水の噴霧（噴霧冷却）
- ・冷却空気中の通過（空気冷却）

浸漬冷却の効果としては、洗浄効果と希釈効果に加え、冷却タンク内の環境における微生物の死滅効果（微生物の生残能力に依存）が挙げられる。冷却タンクへの塩素の添加は微生物の生残に重要な役割を果たす。ただし、その影響は菌種によって異なる。そこで、洗浄によるカンピロバクター濃度の対数変化を推定する際には、カンピロバクターに係るデータのみを利用している。

アメリカなど海外諸国では、近年、塩素添加（遊離塩素濃度 1～5ppm）が普通に行われるようになってきているが、カナダでは一般的ではない⁶。そこで、塩素添加がない場合のデータと、塩素添加がある場合（遊離塩素濃度 1～5ppm）のデータの双方を収集し、冷却によるカンピロバクター濃度の対数変化を推定している。

1) 冷却（塩素非添加）

表 2-10 に示すデータでは、データのばらつきが大きいことが指摘されているものの、これに基づいて、冷却によるカンピロバクター濃度の対数変化を、最大 0log、最小 -2.0log、最確値 -0.75log の三角分布に従うものと推定されている。

冷却（塩素非添加）によるカンピロバクター濃度の対数変化：

Effect_Chill(nCl) ~ Triang(-2.0, -0.75, 0) logCFU/羽

表 2-10 冷却（塩素非添加）によるカンピロバクター濃度の対数変化データ

Samples	Author	Sample Point	Mean Log CFU/unit	Sample Point	Mean Log CFU/unit	Mean Log Change
8	Izat et al 1988	post wash	1.71	post chill	1.43	-0.28
8	Izat et al 1988	post wash	2.39	post chill	1.85	-0.54
8	Izat et al 1988	post wash	3.04	post chill	1.18	-1.86
15	Wempe et al 1983	pre chill	2.92	post chill	1.74	-1.18
15	Wempe et al 1983	pre chill	2.62	post chill	1.38	-1.24
15	Wempe et al 1983	pre chill	3.32	post chill	2.33	-0.99
15	Wempe et al 1983	pre chill	2.50	post chill	1.76	-0.74
8	Ooesterom et al 1983	post evisceration**	2.58	post spinchill	0.98	-1.60 (-1.10)**
8	Ooesterom et al 1983	post evisceration**	2.44	post spinchill	1.24	-1.20 (-0.70)**
8	Ooesterom et al 1983	post evisceration**	2.60	post spinchill	1.83	-0.77 (-0.27)**

** Ooesterom et al. 1983 のデータには、洗浄の効果も含まれているため、0.5log の洗浄効果を補正している。

⁶ 日本では塩素添加を行っているが、遊離塩素濃度を 5ppm に保つことは困難であるといわれている。

2) 冷却（塩素添加）

塩素添加の浸漬冷却による微生物の減少効果に関するデータは多くない。有効な遊離塩素濃度を保持する高濃度の塩素添加には、処理済鶏肉における微生物の減少効果が期待される。

表 2-11 に示すデータに基づき、冷却によるカンピロバクター濃度の対数変化は、最大・2.5 log、最小・0.25 log、最確値・1.25 log に従う三角分布として推定されている。なお、Berrang (unpublished) の 1.6log のデータは分析から除外されている。

冷却（塩素添加）によるカンピロバクター濃度の対数変化：
Effect_Chill(CI) ~ Triang(-2.5, -1.25, -0.25) logCFU/羽

表 2-11 冷却（塩素添加）によるカンピロバクター濃度の対数変化データ

Samples	Author	Sample Point	Mean Log CFU/unit	Sample Point	Mean Log CFU/unit	Mean Log Change
5	Berrang (unpublished)	pre chill	2.10	post chill	1.20	-0.90
5	Berrang (unpublished)	pre chill	3.30	post chill	1.10	-2.20
5	Berrang (unpublished)	pre chill	2.00	post chill	0.90	-1.10
5	Berrang (unpublished)	pre chill	1.60	post chill	3.20	1.60
5	Berrang (unpublished)	pre chill	2.70	post chill	1.10	-1.60
90	Cason 1997	pre chill	5.35	post chill	3.86	-1.50
20	Line (Unpublished)	pre-wash**	2.76	post chill	0.86	-1.89 (-1.39)**
20	Line (Unpublished)	pre-wash**	3.50	post chill	1.22	-2.28 (-1.78)**
20	Line (Unpublished)	pre-wash**	2.27	post chill	0.73	-1.54 (-1.04)**
20	Line (Unpublished)	pre-wash**	2.27	post chill	0.77	-1.49 (-0.99)**
20	Line (Unpublished)	pre-wash**	2.54	post chill	0.90	-1.64 (-1.14)**
20	Line (Unpublished)	pre-wash**	3.01	post chill	0.92	-2.09 (-1.59)**
20	Line (Unpublished)	pre-wash**	3.32	post chill	1.01	-2.31 (-1.81)**
20	Line (Unpublished)	pre-wash**	2.61	post chill	0.81	-1.80 (-1.30)**
20	Line (Unpublished)	pre-wash**	2.95	post chill	1.17	-1.78 (-1.28)**
20	Line (Unpublished)	pre-wash**	1.96	post chill	0.79	-1.17 (-0.67)**

** Line(unpublished)のデータには、洗浄の効果も含まれているため、0.5log の洗浄効果を補正している。

2.5 鶏の汚染率

モデルは食鳥処理前と処理後の鶏の体表における汚染率を推定できるように構築されている。処理プロセスが進むにつれて汚染率が増加するのは、鶏の体表に付着しているカンピロによる自己汚染か、既に体表に付着していたカンピロが他の非汚染鶏に広がる体表汚染のいずれかの結果であることを仮定している。なお、体内汚染については、食鳥処理の個別段階のモデルに組み込まれている。

(1) 食鳥処理前の鶏の汚染率

鶏の生育過程におけるカンピロバクターの感染源については不明だが、一般に加齢とともに汚染率は増加すると考えられている。カンピロバクターがコロニーを形成する鶏の部位は消化器官（主に盲腸や大腸、排出腔）である。消化器官における具体的な部位は不明である。消化器官の上皮組織にコロニーを形成するサルモネラと異なり、カンピロバクターはムチン層において自由遊泳性を有すると考えられている。汚染率としては0～100%までの大きなばらつきが報告されている。

Stern(1995)では、輸送後のスタンニングおよび放血が行われた直後の鶏 200 サンプル (10 鶏群) を屠体洗浄したところ、汚染率は鶏で 56% であり、鶏群では約 80% と推定されている。Berrang (unpublished) では、湯漬前の 30 サンプル (6 鶏群) を屠体洗浄したところ、汚染率は 83% であった。Wempe et al.(1983) では生きた鶏の胸部の羽のサンプルを調査したところ、汚染率は鶏で 20%、鶏群で 44% であった。ただし、このデータはサンプルが少なく、代表性に欠けるとして分析から除外されている。

食鳥処理前の鶏の汚染率の分布について、文献データは母集団から抽出された二項確率変数と仮定し、次式のとおり、分布形状をベータ分布としてパラメータ推定が行われている。

食鳥処理前の鶏の汚染率 : $P_{\text{post_T}} \sim \text{Beta}(22, 15) \%$
--

(2) 食鳥処理プロセスが汚染率に与える影響の推定

カンピロバクターの汚染率や交差汚染に食鳥処理プロセスが与える影響は定量化が困難であることが分かっている。そこで、処理プロセスによる汚染率の変化をモデル化するために、定性的データと定量的データを組み合わせて、各処理プロセスについて交差汚染の発生する度合いをランク付けし、ランクに応じて交差汚染係数を割り当てる準定量的アプローチが採られている。

交差汚染の可能性は、表 2-12 に示すとおり、脱羽、中抜き、湯漬および浸漬冷却の順で高く、噴霧洗浄は交差汚染をもたらさないとされている。表 2-12 の 3 列目は当該処理プロセスによるカンピロバクター汚染の増加について報告されている最大対数変化（増加）である。4 列目は他の微生物について定量的に交差汚染の発生度合いを示している文献の有無を、5 列目は他の微生物について定性的あるいは準定量的に交差汚染の可能性を指摘している文献の有無を示している。こうしたランクを交差汚染係数の割り当てに用いている（表 2-13）。

表 2-12 食鳥処理プロセスにおける交差汚染の可能性

Process Step	Rank	Max Increase log ₁₀	Other Quantitative (ref)	Other Qualitative (ref)
Scalding	4	0.22	No	Yes (1)
Defeathering	1	2.80	Yes (2)	Yes (3, 4, 5, 6)
Evisceration	2	1.76	Yes (8)	Yes (4)
Washing	5	No increases	No	No
Chilling	3	No increases	Yes (7)	No

(1) Bautista et al 1994.

(2) Mulder et al 1978.

(3) Genigeorgis et al, 1986.

(4) Bryan & Doyle 1995.

(5) Wempe et al 1983.

(6) Ooesterom et al 1983

(7) Lillard 1990

(8) Cason et al 1997.

表 2-13 食鳥処理プロセスにおける交差汚染の発生確率とその大きさ（交差汚染係数）

Processing Step	Frequency of Cross-contamination Occurrence	Magnitude of Cross-contamination (X-Factor)		
		Distribution	Min	Max
Soft Scalding	50 %	UNIFORM	1.05	1.86
Hard Scalding	25%	UNIFORM	1.05	1.50
Defeathering	80 %	UNIFORM	1.05	3.00
Evisceration	60 %	UNIFORM	1.05	3.00
Washing	0 %	UNIFORM	1.00	1.00
Chilling, No Chlorine	50 %	UNIFORM	1.05	2.33
Chilling, Chlorine Added	25%	UNIFORM	1.05	1.86

表 2-13 の交差汚染係数の最大値は、ある処理プロセスに 50% の汚染率で鶏が入ってきたときに、当該処理プロセス後に適切な汚染率を与えるよう設定されている⁷（下の点線囲み参照）。最小値は交差汚染の可能性のあるプロセスでは 1.05、ない場合には 1.0 と設定されている。交差汚染係数の分布は一様分布が仮定されている。

食鳥処理プロセス		交差汚染係数の分布	交差汚染係数が最大の場合の当該処理プロセス前後の汚染率
湯漬	弱湯漬	XS(SS)~Uniform(1.05,1.86)	XS(SS)=1.86 : 50%→65%
	強湯漬	XS(HS)~Uniform(1.05,1.50)	XS(HS)=1.50 : 50%→60%
脱羽		XD~Uniform(1.05,3.00)	XD=3.00 : 50%→75%
中抜き		XE~Uniform(1.05,3.00)	XE=3.00 : 50%→75%
洗浄		XW~Uniform(1.00,1.00)	XW=1.00 : 50%→50%
冷却	塩素非添加	XC(nCl) ~Uniform(1.05,2.33)	XC(nCl)=2.33 : 50%→70%
	塩素添加	XC(Cl) ~Uniform(1.05,1.86)	XC(Cl)=1.86 : 50%→65%

・各処理プロセス後の汚染率は以下のとおり導出された式で推定⁸（Cassin et al. 1998）

P_B : 処理前の陽性の割合（事前汚染率）

$1-P_B$: 処理前の陰性の割合

P_A : 処理後の陽性の割合（事後汚染率）

$1-P_A$: 処理後の陰性の割合

Z : 交差汚染係数

$$\left(\frac{P_B}{1-P_B} \right) \times Z = \left(\frac{P_A}{1-P_A} \right) \Rightarrow P_A = \frac{P_B \times Z}{1-P_B + P_B \times Z}$$

例) 脱羽

・脱羽プロセスでは、80% の確率で交差汚染が発生（表 2-13）。交差汚染発生時には、交差汚染係数は 1.05~3.00 である。

・鶏の汚染率が 40% で脱羽プロセスに入ったとすると、脱羽プロセスの後には、80% の確率で汚染率が 41%~67% に増大する（残りの 20% の確率で 40% のまま）。

⁷ 根拠はかなり希薄である。

⁸ 当該記述はレポートの Appendix2 に記載

2.6 食鳥処理後のカンピロバクター濃度の推定および暴露リスクの推定

(1) 保管・輸送

カンピロバクターはそれほど耐性の高い微生物ではなく、周辺の温度下に置かれた食品中では増殖しない。高温や低 pH、高酸素濃度、低湿度のような異なる環境に敏感である。発育至適温度は 37～42℃である。サルモネラや *E.coli* とは異なり、食鳥処理後にカンピロバクターが増殖することは考えにくい。逆に、死滅によって減少することが考えられる。これは食品が置かれる温度に依存する。

カンピロバクターは冷凍の影響に敏感であり、室温よりも冷蔵庫中の食品でより生残する。なお、ここでのリスク評価では生鶏枝肉が対象であるとされている。

表 2-14 に示すデータに基づき、鶏肉の冷蔵庫保管中 (4℃) の 1 日あたりカンピロバクターの対数減少率は、次式の三角分布に従うものとして推定されている。なお、Stern(1995b) のデータは他の研究者のデータと異なる値をとっている。理由は不明であるが、分析に含めている。

鶏肉の冷蔵庫保管中 (4℃) の 1 日あたりカンピロバクターの対数減少率：

$$LR_Rate \sim \text{Triang}(0.04, 0.12, 0.30) \log\text{CFU/日}$$

表 2-14 鶏肉の冷蔵庫保管中の 1 日あたりカンピロバクター対数減少データ

Author	Substrate	(LR)	Days	LR/Day
Blankenship & Craven (1982)	Ground Chicken	1.50	17	0.09
Blankenship & Craven (1982)	Ground Chicken	0.80	17	0.05
Blankenship & Craven (1982)	Ground Chicken	2.00	17	0.12
Blankenship & Craven (1982)	Drumsticks	2.00	16	0.13
Ooesterom et al (1983b)	Chicken Carcass	1.00	7	0.14
Ooesterom et al (1983b)	Chicken Carcass	1.00	8	0.13
Yogasundaram & Shane (1986)	Drumsticks	0.74	7	0.11
Svedhem et al (1981)	Chicken Parts	0.40	7	0.06
Stern (1995b)	Chicken Carcass	1.80	7	0.26
Stern (1995b)	Chicken Carcass	2.00	7	0.29
Stern (1995b)	Chicken Carcass	1.40	7	0.20
Stern (1995b)	Chicken Carcass	0.40	7	0.06

また、生鶏肉が食鳥処理から小売を通じて喫食者に渡るまでには 1～7 日 (最確値 3 日) かかり、その間は冷蔵温度の下に置かれると仮定し、冷蔵庫での保管期間を次式の三角分布に従うものと推定している。

冷蔵庫での保管期間：Refrig_Day $\sim$ Triang(1,3,7) 日

(2) 喫食者の鶏肉の取り扱い

鶏肉の消費は年々増加傾向にある。アメリカでは 76% の喫食者が鶏肉を週に少なくとも 1 回は喫食し、45% が週に 2 回は喫食する。カナダでは 1998 年の一人当たり鶏肉消費量は約 26kg であり、アメリカでは 36kg である。

喫食者がカンピロバクターに曝露される経路は鶏肉の喫食および生鶏肉の取り扱いと高い相関がある。生鶏肉の取扱いは、交差汚染の問題も含め、カンピロバクターに曝露される重要な経路として認識されている。

交差汚染はキッチンにおいて多様な媒体を通じて発生する。全体の平均的なリスクを推定するためのモデル化は困難である。交差汚染のモデル化をさらに困難にするものとして、摂取される用量の推定に係る問題がある。

鶏肉からカンピロバクター属感染症に感染するリスクを推定するために、家庭での調理不十分な鶏肉の喫食と、生鶏肉から滴り落ちた液体の交差汚染を通じた喫食といった 2 つの曝露経路を独立にモデル化している。

1) 家庭での喫食を通じた曝露

カンピロバクターは加熱処理に弱く、加熱調理によってかなりの対数減少が期待される。Doyle and Roman(1981)では、60℃で 10 分の加熱処理は多数のカンピロバクターを死滅させるのに十分としている。

モデルでは、全体のほんの一定割合だけが加熱調理が不十分な鶏肉であり、そうした鶏肉にのみカンピロバクターが生残できると仮定されている。加熱不活化効果はこれらの鶏肉にのみ適用される。残りは完全に加熱調理され、カンピロバクター汚染の影響を受けないと仮定されている。

Worsfold and Griffith(1997), Daniel (1998), Bryan and Doyle(1995)から、一般の調理において加熱が不十分な調理の割合は 15、24%、27% と報告されているが、鶏肉については不十分な加熱の危険性が理解されていることから、5~15% 程度であると、次式の三角分布に従うものとして推定されている。

鶏肉の不十分な加熱調理の割合 : $\text{Prop_UC} \sim \text{Triang}(0.05, 0.10, 0.15)$

鶏の内臓の内腔部、隙間や、繋ぎ目周辺部、切断され傷つけられた組織では、直接的な加熱からある程度保護されており、微生物が生残することができる。鶏肉の体表面の微生物は若干の加熱で不活化される。甚だしく不適切に調理されていない限り、微生物は、これらの保護された組織においてのみ生残する。

Bryan and Doyle(1995) (Bryan and McKinley(1974), Robers(1972)) に基づき、ロースト、フライ、グリルといった調理法では、体表面の温度は 74℃ であるが、保護された組織は調理の過程で 0.5~1.5 分の間、60~65℃ の温度に曝されると仮定し、鶏肉の保護された組織における加熱時間と温度は次式の三角分布に従うものとして推定されている。

- ・ 鶏肉の保護された組織の加熱時間 : $\text{Time_CK} \sim \text{Triang}(0.50, 1.00, 1.50)$ 分
- ・ 鶏肉の保護された組織の温度 : $\text{Temp_CK} \sim \text{Triang}(60.0, 64.0, 65.0)$ °C

また、調理によるカンピロバクターの対数減少を推定するために、Blackenship and Craven (1982)において、温度がカンピロバクターに与える効果を実験的に推定した D 値と z 値⁹を用いてモデル化が行われている（表 2-15）。5-strain および strain H840 カンピロバクターの z 値はそれぞれ 6.35℃、5.91℃である。5-strain カンピロバクターのデータに基づき、調理によるカンピロバクターの対数減少は線形回帰によって次式のとおり推定されている。

不十分な加熱調理によるカンピロバクターの汚染量の対数減少：

$$\text{Effect_CK} = \text{Time_CK} / 10^{(-0.158 \times \text{Temp_CK} + 9.01)}$$

表 2-15 一定温度下でのカンピロバクターの死滅時間

	H-840	5 strain composite
	z-value = 5.91 C	z-value = 6.35 C
Temperature (deg C)	D-value (min)	D-value (min)
49	20.5	ND
51	8.77	9.27
53	4.85	4.89
55	2.12	2.25
57	0.79	0.98

さらに、保護された組織にカンピロバクターが 10～20%存在するものと仮定し、鶏肉の保護された組織に存在するカンピロバクターの割合は次式の三角分布に従うものと推定されている。

鶏肉の保護された組織に存在するカンピロバクターの割合：

$$\text{Prop_Prctct} \sim \text{Triang}(0.10, 0.15, 0.20)$$

この 10～20%のカンピロバクターが生残する確率は、保護された組織が加熱される時間と温度による死滅率（不十分な加熱調理による汚染量の対数減少）を乗じることで推定される。

2) 間接的な曝露

家庭では、調理の準備をしている間、多数の経路で生鶏肉に含まれるカンピロバクターの曝露を受ける可能性がある。例えば、鶏肉からカンピロが付着する食材の汚染、まな板の汚染、手の汚染等が挙げられる。キッチンで発生する事象には大きな不確実性と変動性が伴う。従って、交差汚染を通じたカンピロ属感染症への感染リスクの推定は困難であり、データも限られている。既存研究では、準備後の汚染の可能性は把握できても、定量的な汚染量の推定は不可能である。そこで、鶏肉の喫食以外の経路からの曝露に伴うリスクの推定は次のアプローチで推定している。浸漬冷却など食鳥処理過程で鶏肉に水が用いられるとき、鶏肉に緩く付着しているカンピロの一部は水の中で希釈され、一部は鶏肉の中に浸入するか、鶏肉の周りに薄い層を形成する。その後、調理の準備中に水の一定割合は生鶏肉から滴り落ち（カンピロバクターの濃度は鶏肉に残る水と同じ）、交差汚染が発生する。

⁹ z 値は D 値（時間）を 90%減少させるために要する温度上昇

例) 鶏肉のカンピロバクターの濃度が 3 log CFU/羽であり、鶏肉に付着しているカンピロバクターの 5%が緩く付着しているものとする。これが浸漬冷却で 200ml の水に希釈され、約 75ml が鶏肉に残り、残りは処理施設中に滴り落ちるとする。このとき、鶏肉に残った水に含まれるカンピロバクターの濃度は次のように推定される。

- ・ 鶏肉のカンピロバクター濃度=3 log CFU/羽=1000CFU/羽
- ・ 緩く付着しているカンピロバクター=50CFU/羽
- ・ 希釈水のカンピロバクター濃度=50/200=0.25CFU/ml
- ・ 鶏肉に残るカンピロバクター=0.25×75=約 19CFU
- ・ 調理準備中に滴り落ちた水の中のカンピロバクター=0.25×125=約 31CFU

具体的に、食鳥処理後のカンピロバクター濃度から、家庭で滴り落ちる水のカンピロ濃度を推定する手順は図 2-5 に示すとおりである。

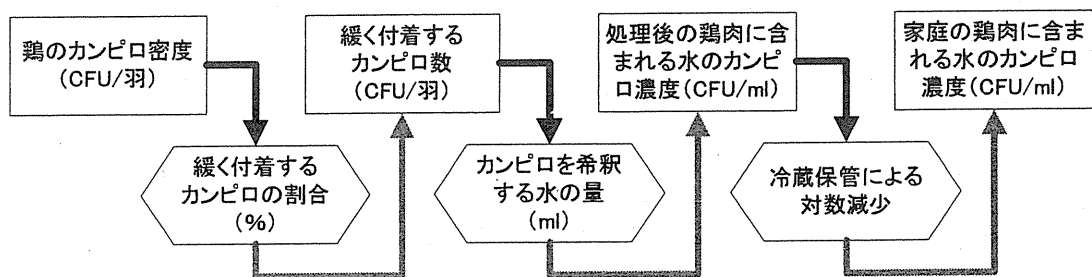


図 2-5 家庭で滴り落ちる水のカンピロ濃度の推定手順

カナダ食品監視局 (CFIA) では、2.3kg 未満の鶏肉に対し、食鳥処理で追加される水の重さを最大 8%に規制している。アメリカでも 2kg 未満の鶏肉に対し、重量増を最大 8%に規制するガイドラインがある。従って、約 1400g の鶏肉には約 100ml の水が含まれる。なお、ここでの交差汚染によるリスク推定においては、生鶏肉から滴り落ちる 0.5~1.5ml の水からの曝露を対象とする (曝露される経路は特定しない)。

- ・ 緩く付着しているカンピロバクターの割合 : Prcnt_Loose~Uniform(1,10) %
- ・ 緩く付着しているカンピロが希釈される水の量 : Dilution_Vol~Uniform(150,250) ml
- ・ 喫食者が家庭で曝露される生鶏肉からの水の量 : Vol_Drip~~Uniform(0.5,1.5) ml

2.7 用量-反応分析

カンピロバクター属感染症への罹患リスクは次の3つの条件付き生起確率に依存する。

- ・カンピロバクターを摂取する確率
- ・摂取されたカンピロバクターが生残り、宿主に感染する確率
- ・感染した宿主が罹患する確率

用量-反応分析では、食中毒の集団発生に係る疫学データと摂取実験データを用いることができる。ただし、前者では用量が計測されることはほとんどなく、後者は代表性に欠けるという問題点がある。

ここでは、Black et al.(1988)のカンピロバクター摂取実験のデータ（表 2-16）を最尤法によって用量-反応モデルに適合させている（Medema et al. 1996, Teunis et al. 1996）。現在、さまざまな病原菌について広範に用いられ、受容されている用量-反応モデルは次式で表されるベータ-ポアソンモデル（Haas 1983, Furomoto and Mickey 1967）である¹⁰。

$$P_{\text{inf}} = 1 - \left(1 + \frac{D}{\beta}\right)^{-\alpha} \quad P_{\text{inf}}: \text{感染確率、} D: \text{摂取用量、} \alpha, \beta: \text{パラメータ}$$

$$\alpha = 0.145, \beta = 7.589$$

最近の分析（Cassin et al. 1998）では、ベータ-ポアソンの改良版であるベータ-二項モデルが用いられている。これは、1個のカンピロバクターから感染する確率を推定するためにベータ分布から標本抽出し、また、摂取したカンピロバクターの数はポアソン分布から標本抽出する。そこでは、鶏肉に存在するカンピロが一定の濃度でランダムに分布していることが仮定されている。そして、摂取したカンピロバクターからの感染確率は二項過程（試行回数＝摂取したカンピロ数、各試行の成功確率＝ベータ分布から抽出された値）を仮定して推定する。ベータ-二項モデルでは、ベータ-ポアソンモデルと仮定は同じだが、一定用量からの感染確率の変動性が考慮される。ベータにこうモデルは次式で表される。

$$P_{\text{inf}} = 1 - (1 - P_{\text{inf}}(1))^D \quad P_{\text{inf}}: \text{感染確率、} P_{\text{inf}}(1): 1 \text{ 個の病原体からの感染確率（ベータ分布）}$$

$$D: \text{摂取した病原体の数}$$

表 2-16 カンピロバクター摂取実験データ

Strain	Dose	# of Subjects	Infected	Proportion
<i>C. jejuni</i> A3249	8.00E+02	10	5	0.500
	8.00E+03	10	6	0.600
	9.00E+04	13	11	0.846
	8.00E+05	11	8	0.727
	1.00E+06	19	15	0.789
	1.00E+08	5	5	1.000

¹⁰ 閾値なしの仮定（1個の病原体でも宿主に感染可能）の下で構築

ここで、 $\alpha=0.145$ 、 $\beta=7.589$ のベータ分布について、2万回の試行を行う6回（異なるシード値を適用）のシミュレーションを実施したところ、最大値の平均値は約63%、99.9%値の平均値は約40%であった。さらに、各シミュレーションの間では99.9%値よりも大きな値で、かなり大きな変動性がみられた。1個の病原体から個人が40%を超える確率で感染することは、その個人はかなり高い感受性を有することを意味する。こうした非現実的な感受性を有する個人を想定する稀少確率を含めれば、最終的なリスクの分布に不要な変動性を増加させてしまう。そこで、ここでは、ベータ分布の0.5%値から99.5%値の範囲のみから標本を抽出することとしている（99%の範囲から標本を抽出）¹¹。これにより、最大値の平均値は約29%となる（99.5%値）。この値でも、依然として高い感受性を有する個人を想定していると解釈される。

用量・反応関係は、リスク評価モデルにおいてかなり不確実なパラメータである。しかし、その検証は定量的な疫学データがないため困難である。堅めの推定をするために、重要な仮定として、感染すれば罹患するものと仮定する。

- ・ 1個のカンピロバクターからの感染確率の分布： $P(1) \sim \text{Beta}(0.145, 7.59)$ [0.5~99.5%]
- ・ 曝露される用量からの感染確率の分布： $P(D) \sim \text{Binomial}(\text{Dose}, \text{Beta}(0.145, 7.59))$

¹¹ 分布の特定範囲のみから標本を抽出する方法は、@Risk の場合には RiskTruncate 関数を使用することで実現できる。具体的に、ベータ分布の0.5%値から99.5%値の範囲のみから標本を抽出する関数は次式のように記述される。

$\text{RiskBeta}(\alpha, \beta, \text{RiskTruncate}(\text{BETAINV}(0.005, \alpha, \beta), \text{BETAINV}(0.995, \alpha, \beta)))$

2.8 分析結果

分析は、@Risk を用いて1万回の試行を行うシミュレーションを実行することで実施している。サンプリング法としてラテンハイパーキューブ法を適用している。

(1) カンピロバクター濃度と汚染率

1) 冷却タンク中の汚染鶏肉における平均カンピロバクター濃度

食鳥処理場の冷却タンク中の汚染鶏肉における平均カンピロバクター濃度を、表 2-17 に示す4つの食鳥処理方法についてそれぞれ推定している。その推定結果は表 2-18、図 2-6 および図 2-7 に示すとおりである。

アメリカでは 1992 年に食鳥処理方法を弱湯漬塩素非添加から弱湯漬塩素添加に変更している (SSnCl→SSCl)。分析結果から、この変更によって汚染鶏肉におけるカンピロバクター濃度は 0.4log CFU/羽だけ改善される。また、これにより、約 8 % の汚染鶏肉が変更前 (SSnCl) の平均カンピロバクター濃度を下回るようになる。

弱湯漬塩素非添加から強湯漬塩素非添加に変更した場合には (SSnCl→HSnCl)、カンピロバクター濃度は 0.6log CFU/羽だけ改善される。また、約 12% の汚染鶏肉が変更前 (SSnCl) の平均カンピロバクター濃度を下回るようになる。

さらに、弱湯漬塩素非添加から強湯漬塩素添加に変更した場合には (SSnCl→HSCl)、カンピロバクター濃度は 1 log CFU/羽だけ改善される。また、約 20% の汚染鶏肉が変更前 (SSnCl) の平均カンピロバクター濃度を下回るようになる。

表 2-17 シミュレーションの対象としている食鳥処理方法

食鳥処理方法	湯漬方法	冷却方法
HSCl	強湯漬(Hard Scald)	塩素添加冷却(with Chlorine)
HSnCl	強湯漬(Hard Scald)	塩素非添加冷却(with no Chlorine)
SSCl	弱湯漬(Soft Scald)	塩素添加冷却(with Chlorine)
SSnCl	弱湯漬(Soft Scald)	塩素非添加冷却(with no Chlorine)

表 2-18 冷却タンク中の汚染鶏肉におけるカンピロバクター濃度

食鳥処理方法	カンピロバクター濃度(log CFU/羽)			備考
	5%値	平均	95%値	
HSCl	0.117	3.377	6.729	
HSnCl	0.490	3.777	6.988	カナダ
SSCl	0.628	3.980	7.235	アメリカ
SSnCl	1.099	4.360	7.490	

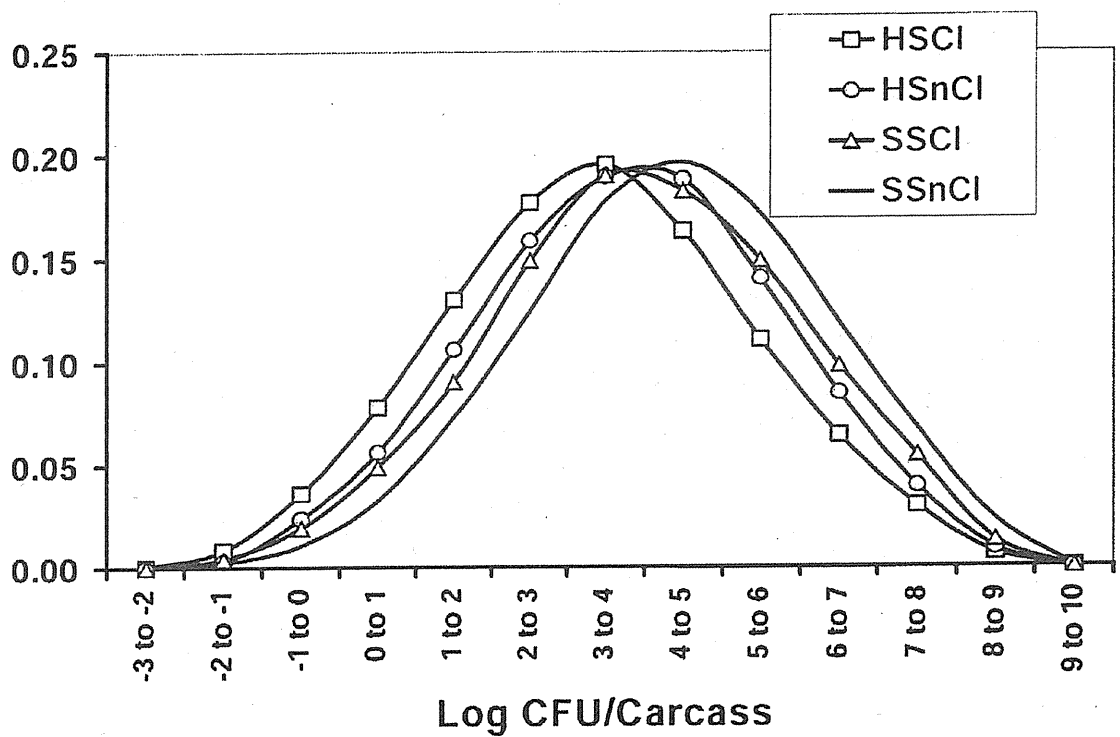


図 2-6 冷却タンク中の汚染鶏肉におけるカンピロバクター濃度の分布（確率密度）

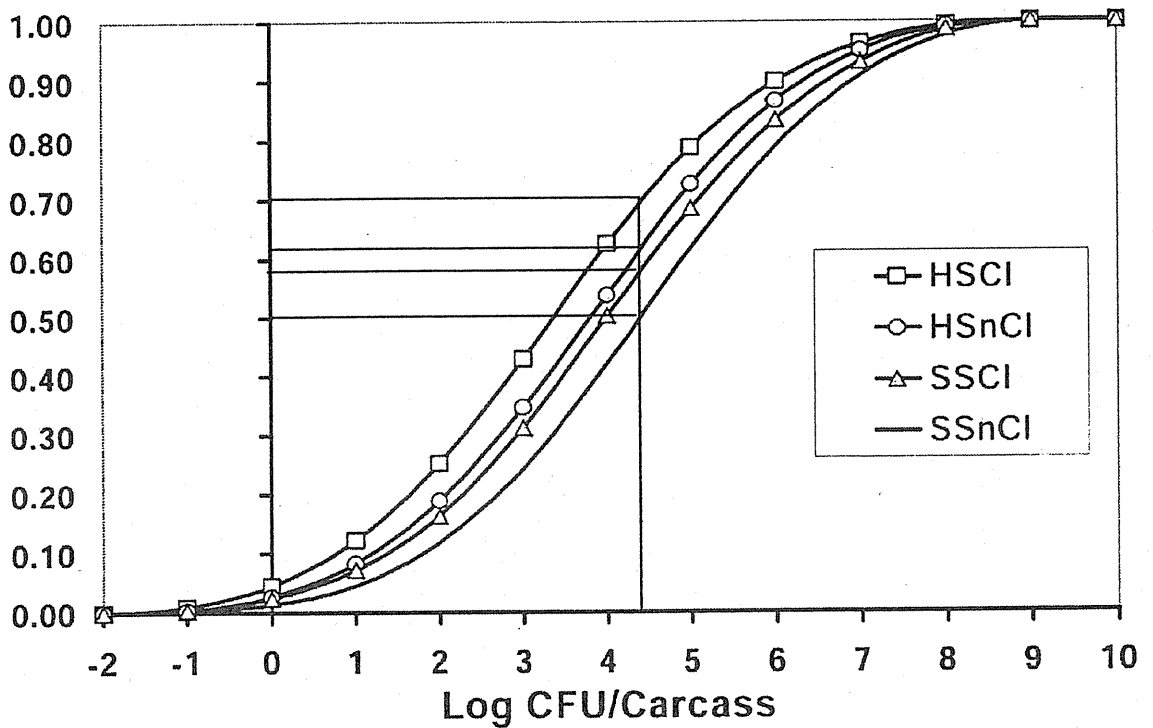


図 2-7 冷却タンク中の汚染鶏肉におけるカンピロバクター濃度の分布（累積確率）

2) 食鳥処理後の鶏肉の汚染率

食鳥処理後の鶏肉の汚染率を表 2・17 に示す4つの食鳥処理方法についてそれぞれ推定している。その推定結果は表 2・19 および図 2・8 に示すとおりである。

鶏肉の汚染率の累積分布は4つの食鳥処理方法でそれほど大きく違わないが、カンピロバクター対策に有効な食鳥処理方法ほど分布が右にシフトしていることが分かる。また、HSnCl と SSnCl の汚染率の分布にはほとんど違いがない。

鶏肉の汚染率が80%以上となる確率は、SSnCl では66%、HSnCl では59%、SSCl では57%、HSCl では49%となる。

また、ここでは、汚染率と検出限界に関する分析についても記載されている。

表 2-19 食鳥処理後の鶏肉の平均汚染率

食鳥処理方法	平均汚染率	備考
HSCl	76%	
HSnCl	79%	カナダ
SSCl	79%	アメリカ
SSnCl	82%	

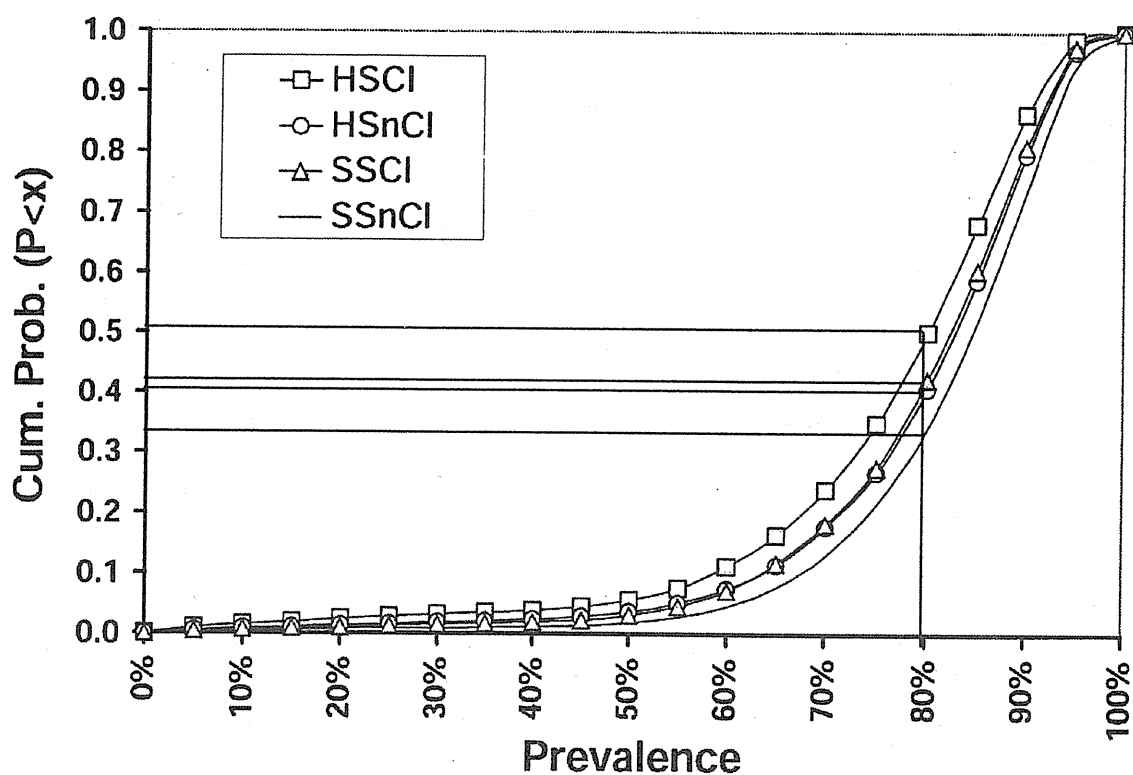


図 2-8 食鳥処理後の汚染鶏肉の汚染率の分布（累積確率）

(2) リスク推定

1) 喫食による曝露

① 喫食1回あたりの平均感染リスク

カンピロバクター属感染症への感染リスクを、家庭で1/4の鶏肉が調理され食事に供される場合について、表2-17に示す4つの食鳥処理方法についてそれぞれ推定している。その推定結果は表2-20にとりまとめられている。なお、喫食1回あたりの平均感染リスク（平均感染リスク/喫食）は、無作為に抽出された個人が無作為に供される鶏肉を喫食することでカンピロバクター属感染症に感染する期待リスクとして解釈することができる。

喫食1回あたりの平均感染リスクの分布はかなり非対称であり（図2-9および図2-10）¹²、試行の多くは低リスクの結果を生成している。実際に平均値は95%値より大きくなっている（平均リスクの%値）。

表 2-20 喫食1回あたりの平均感染リスク

	HSCl	HSnCl	SSCl	SSnCl
平均感染リスク/喫食	2.42E-04	3.87E-04	5.62E-04	6.97E-04
1 感染に要する平均喫食回数	4127	2584	1778	1434
1 万喫食あたり平均感染者数	2.40	3.90	5.60	7.00
平均リスク減少率(対 SSnCl)	65.25%	44.50%	19.36%	—
平均リスクの%値	97.91%	97.26%	97.16%	96.68%
平均リスクを超える確率	2.09%	2.74%	2.84%	3.32%

¹² 分布形はかなり非対称であり、その範囲も広いため、分布は対数尺度で示されている。

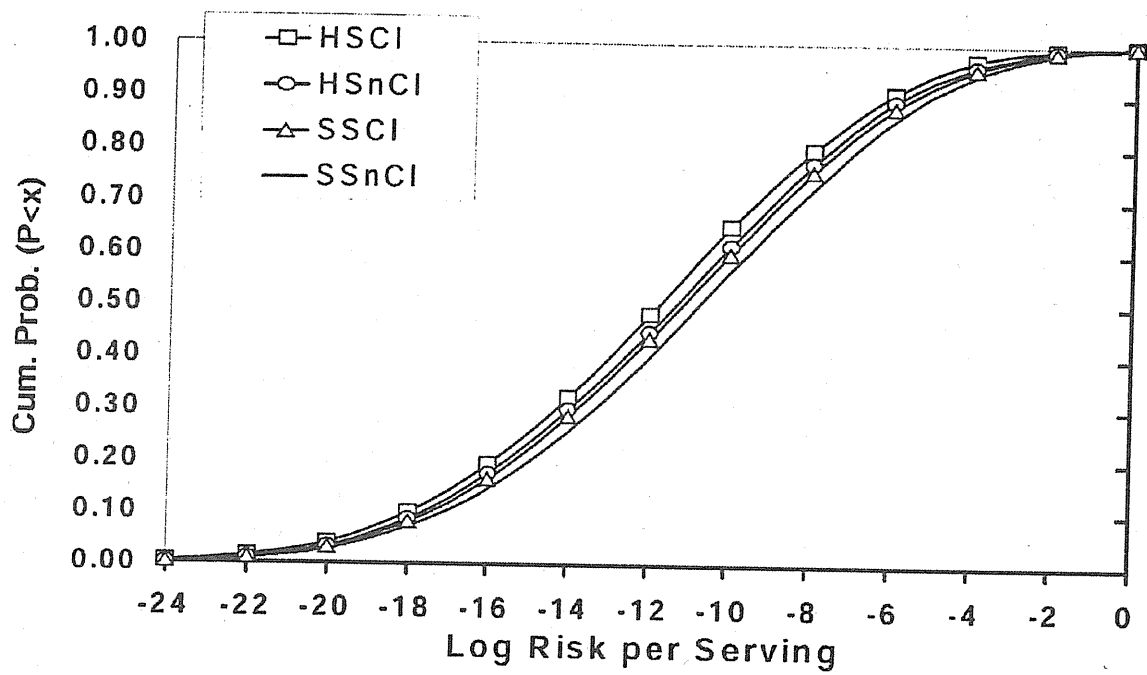


図 2-9 感染リスクの分布 (累積確率)

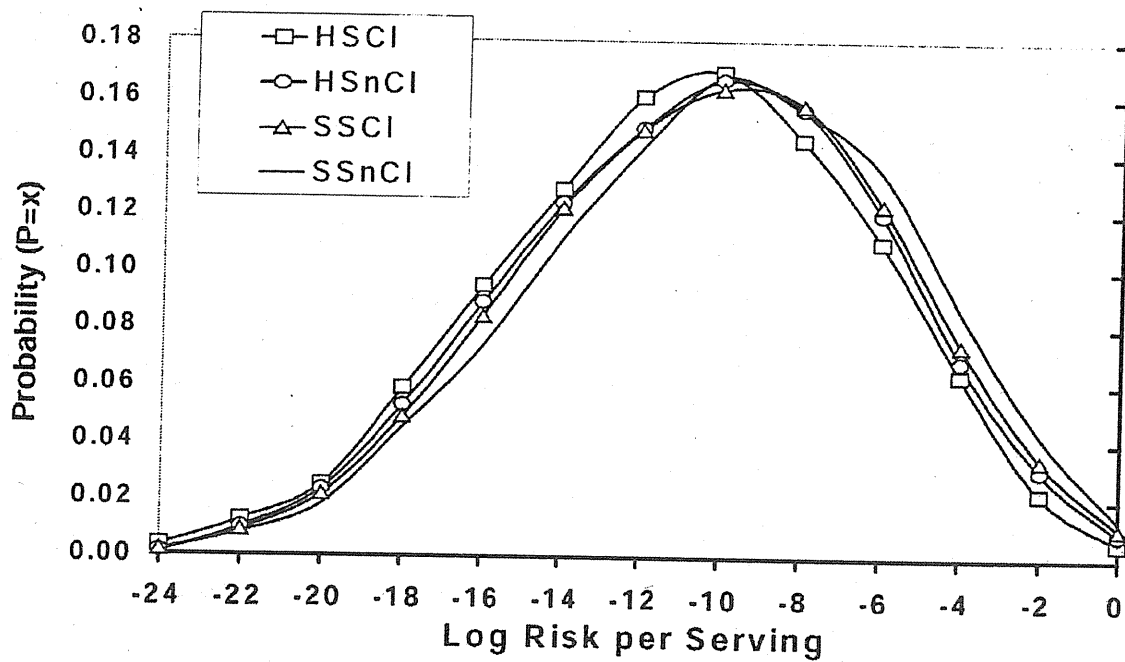


図 2-10 感染リスクの分布 (確率密度)

② 年間感染リスク

ここでは、年間のカンピロバクター属感染症への感染リスクを次式で推定している。

$$P_A = 1 - \prod_{j=1}^i (1 - P_{Di})$$

P_A : 年間感染リスク

i : 年間の鶏肉喫食回数

P_{Di} : 喫食 (1 日) あたりの感染リスク

家庭における鶏肉消費量は、USDA-ARS(1997)の個人喫食継続調査 (CSFII) の3年間データ (1994-1996) を用いて約 110g/喫食 (=1羽の骨なし胸肉) と推定している。また、カナダ人は月平均8回 (週2回)、鶏肉を喫食しているというデータがある (CFA (1998))。このデータには家庭以外での喫食や、加工鶏肉および冷凍鶏肉の喫食も含まれる。そこで、家庭で生鶏肉を調理した食事を喫食する回数はその半分、すなわち年間 52 回と仮定している ($i=52$)。

上記の仮定に基づいて年間の感染リスクを推定した結果は表 2-21 に示されているとおりである。ただし、感染者は 100%罹患すると仮定しているためかなり過大推定 (堅めの推定) になっている。

この推定結果を用いてカナダおよびアメリカにおける年間感染者数を推定した結果は表 2-22 に示すとおりである。ここでは、感染者の罹患率を 25%から 100%まで 25%刻みで設定されている。Mead et al.(1999)のアメリカにおけるカンピロバクター属感染症への年間感染者数と比較し、感染者罹患率は 75~50%と仮定することが妥当とされている。また、モデルでは特定の暴露経路しかモデルに組み込んでいないため、推定結果は過小評価になっている可能性があることも指摘されている。

表 2-21 年間感染リスク

	HSCl	HSnCl	SSCl	SSnCl
年平均感染リスク (110g の鶏肉を 52 回喫食)	3.95E-03	6.30E-03	9.15E-03	1.13E-02
1 感染に要する平均年数	253	159	109	88
1 万人あたり平均感染者数	395	630	915	1,133
平均リスク減少率(対 SSnCl)	65.13%	44.37%	19.27%	—

表 2-22 カナダおよびアメリカにおける年間感染者数

感染者罹患率	カナダ (HSnCl ; 3,030 万人)		アメリカ (SSCl ; 2.7 億人)	
	年間罹患患者	1 万人当たり罹患患者	年間罹患患者	1 万人当たり罹患患者
100%	191,024	630	2,470,135	915
75%	143,374	473	1,854,598	687
50%	95,654	316	1,237,732	458
25%	47,862	158	619,533	229

2) 交差汚染による曝露

カンピロバクターの交差汚染を家庭で引き起こす事象には大きな不確実性がある。さらに、喫食者の行動に伴う大きな変動性もある。このため、交差汚染の詳細なモデルを構築できる可能性は低い。そこで、ここでは交差汚染によるリスクについて何らかの洞察を得るために、鶏肉に含まれる水 0.5~1.0ml からの交差汚染という非常に単純な推定を行っている。

鶏肉に含まれる水に含まれるカンピロバクター量を推定した結果は図 2-11 に示すとおりである。水にカンピロバクターが含まれていない確率は、HSCI で約 60%、HSnCI で約 52%、SSCI で約 48%、SSnCI で約 40% である。逆に言えば、カンピロバクターが水に含まれている確率は SSnCI では約 60%、HSCI では 40% 未満である。

鶏肉に含まれる水からの交差汚染による平均感染リスクの推定結果は表 2-23 に示すとおりである。この推定結果からは、交差汚染による感染リスクは、喫食によるものよりかなり高い (約 200 倍) ことが分かる。これは、交差汚染については家庭での調理方法が重要であり、喫食者の行動をより理解し、適切に特徴付けることが必要であることを意味する。

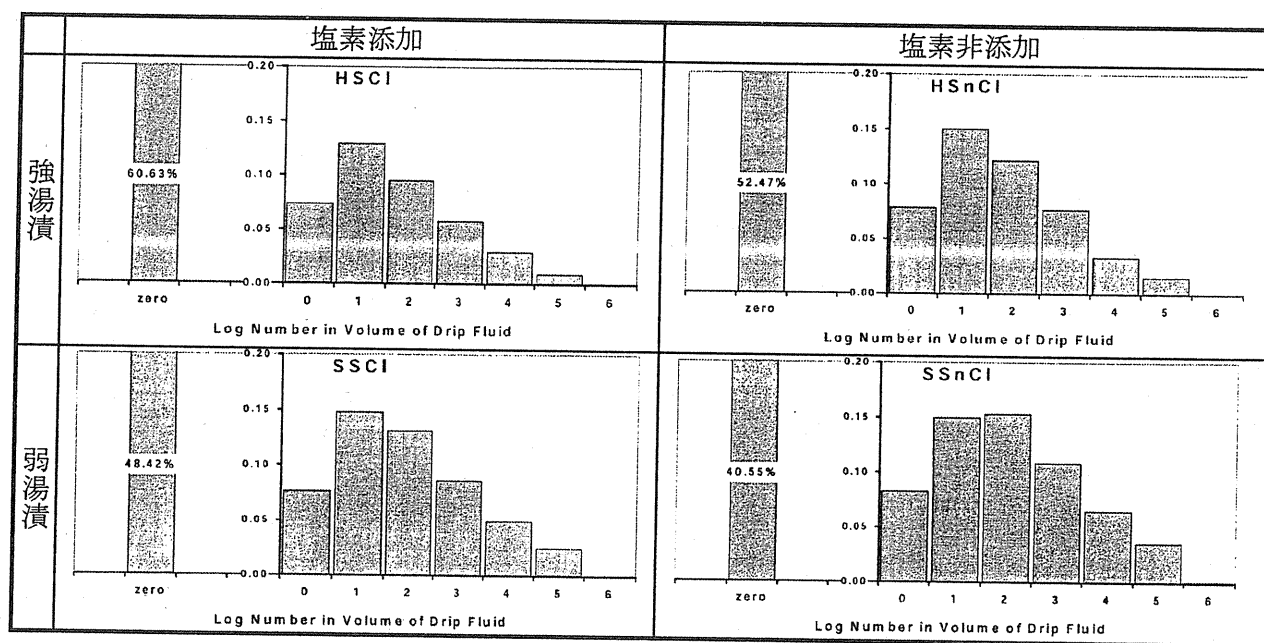


図 2-11 鶏肉に含まれる水に含まれるカンピロバクター量

表 2-23 鶏肉に含まれる水への曝露による平均感染リスク

	HSCI	HSnCI	SSCI	SSnCI
平均感染リスク/曝露	6.02E-02	8.01E-02	9.57E-02	1.29E-01
1 感染に要する平均曝露回数	16	12	10	7
平均リスクの%値	87.00%	84.69%	83.17%	79.76%
リスクの倍率対喫食曝露	248	207	170	184

(3) 感度分析

感度分析は、不確実性あるいは変動性を有するどのパラメータがどの程度推定されたリスクに影響をもたらすかを分析するものである。感度分析の尺度は、スピアマンの順位相関係数である。リスクに大きな影響をもたらすパラメータが不確実性を伴うものであるか、変動性を伴うものであるかを峻別することはリスクマネジメントの方法を決定するにあたって重要である。リスクに大きな影響をもたらすパラメータが、不確実性を伴うものであれば、当該パラメータに調査研究の焦点を当て、十分な情報を得る必要がある。変動性を伴うものであれば、変動を減少させたり、値が変動する範囲をシフトさせたりする、何らかのリスク管理措置を講じる必要がある。

感度分析の結果は図 2-12 に示すとおりである。以下に、感度分析の結果から重要なリスク要因として抽出されたパラメータについてのコメントを記載する。

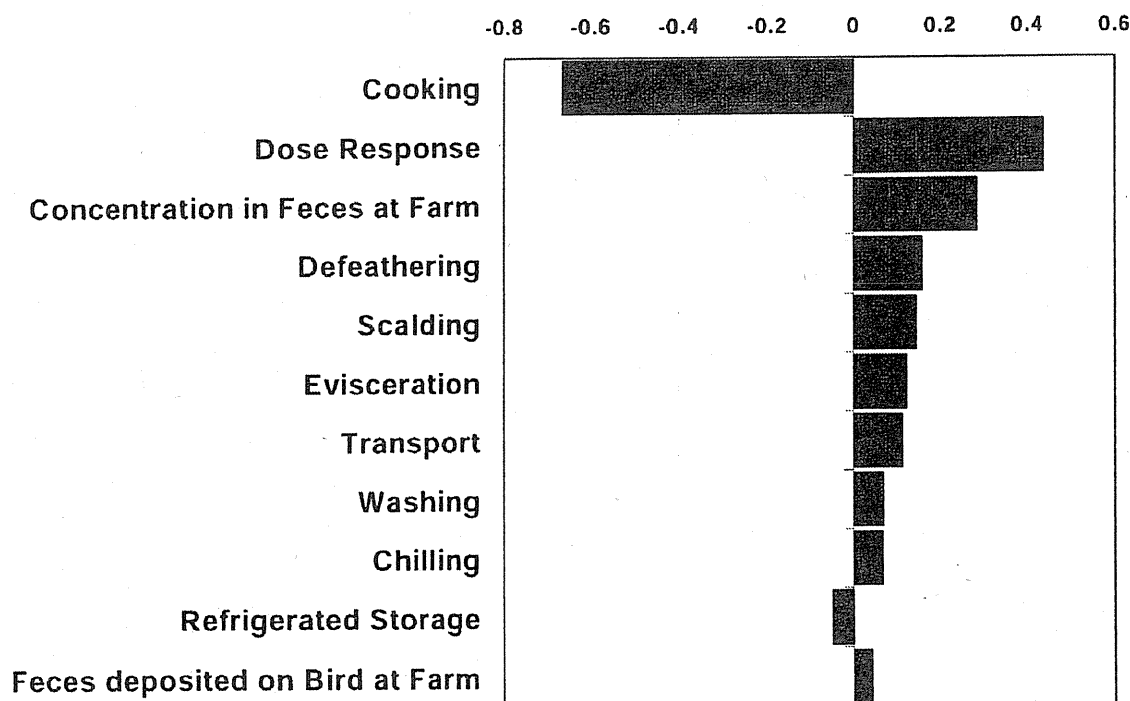


図 2-12 感度分析結果（トルネード図）

1) 調理温度・調理時間

不確実性が非常に大きいパラメータであり、リスクに対して劇的な影響をもたらす。喫食者の教育と、不十分な加熱調理を減らす有効な手法を開発することが極めて重要である。

2) 用量-反応関係

不確実性も変動性も大きいパラメータである。当該パラメータに係る疫学調査を実施し、定量的なデータを収集することで不確実性を減少させることが求められる。

また、モデルでは感染すれば罹患すると仮定しており、感染確率を過大評価している。感染と罹患の関係についても調査が必要である。

3) 農場における糞便のカンピロバクター濃度

最も重要なリスク要因の一つであり、これを減少させることがリスクの減少に大きな影響をもたらす。食鳥処理プロセスに入る前に汚染鶏を減少させる手法を研究する必要がある。

鶏の汚染率は重要とは認識されていないが、疑いなく重要なパラメータである。ただし、その変動幅はリスクにそれほど大きな影響をもたらさない。

4) 食鳥処理方法

脱羽過程と湯漬過程において生じるカンピロバクター量の大きな対数変化は、リスクに大きな影響をもたらす。これらの処理過程を最大のパフォーマンスで実施するリスクコントロール措置をとることにより、リスクを大きく減少させることができる。

また、脱羽や湯漬をはじめとする各食鳥処理過程がカンピロバクターの量や汚染率に与える影響についての研究が必要である。

5) 輸送

輸送は比較的重要だが、コントロールも監視も行われていないプロセスである。現行の輸送方法に単純な改良を施せば、かなりのリスク減少が可能と考えられる。

輸送の影響に関する定量的データは限定的である。現行の輸送技術を改善する方法についての研究が必要である。

6) Farm-to-Folk での汚染率の変化

鶏の汚染率の変化のモデル化には、かなり大きな不確実性を伴っている。汚染率に対する各プロセスの相対的な影響の度合いを特徴付ける定量的データが必要である。

2.9 結論

浸漬冷却過程において塩素を添加すればカンピロバクター属感染症の平均罹患リスクを約20%減少させることが可能である。

鶏肉に含まれる水からの交差汚染によるリスクは、喫食によるリスクよりも200倍大きい。

感度分析からは、食鳥処理前のカンピロバクター量が重要なリスク要因として抽出された。輸送プロセスはすぐにでもリスクコントロール措置を講じ得るプロセスである。

2.10 モデル概要

(1) カンピロバクター濃度

農場	糞便中のカンピロバクター濃度(log CFU/g)		Cf_F=RiskNormal(4.95, 1.38)	
	鶏体表に付着する糞便濃度(g/羽)		fb_F=RiskUniform(0.50, 5.00)	
	鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽)		C_F1=Cf_F+log(fb_F)	
輸送	輸送前の鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)		C_pre_T=C_F1	
	輸送による汚染量の増大(log CFU)		Mag_T=RiskTriang(0.00, 1.50, 3.00)	
	輸送後の鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)		C_post_T1=C_pre_T+Mag_T	
	輸送後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽)		C_post_T2=log(10^(C_post_T1)/ProbT)	
食鳥処理	食鳥処理前の鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽)		C_pre_P=C_post_T2	
	湯漬	湯漬の効果 (log CFU/羽)	弱湯漬(SS) 強湯漬(HS)	Effect_Scald=RiskTriang(-3.50, -3.00, 0.25) Effect_Scald=RiskTriang(-4.00, -3.50, -0.75)
		湯漬後の鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)		C_post_S1=C_pre_P+Effect_Scald
		湯漬後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽)		C_post_S2=log(10^(C_post_S1)/ProbS)
		脱羽	脱羽の効果(log CFU/羽)	
	脱羽後の鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)		C_post_D1=C_post_S2+Effect_Def	
	脱羽後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽)		C_post_D2=log(10^(C_post_D1)/ProbD)	
	中抜き	中抜きの効果(log CFU/羽)		Effect_Evisc=RiskTriang(-0.50, 0.00, 2.00)
		中抜き後の鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)		C_post_E1=C_post_D2+Effect_Evisc
		中抜き後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽)		C_post_E2=log(10^(C_post_E1)/ProbE)
	洗浄	洗浄の効果(log CFU/羽)		Effect_Wash=RiskTriang(-1.50, -0.50, 0.00)
		洗浄後の鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)		C_post_W1=C_post_E2+Effect_Wash
		洗浄後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽)		C_post_W2=log(10^(C_post_W1)/ProbW)
	冷却	冷却の効果 (log CFU/羽)	塩素非添加(nCl)	Effect_Cill=RiskTriang(-2.00, -0.75, 0.00)
			塩素添加(Cl)	Effect_Cill=RiskTriang(-2.50, -1.25, -0.25)
		冷却後の鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)		C_post_C1=C_post_W2+Effect_Chill
	冷却後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽)		C_post_C2=log(10^(C_post_C1)/ProbC)	

(2) 汚染率

処理前	輸送後の鶏の汚染率		$P_post_T = \text{RiskBeta}(22, 15)$
	輸送後の汚染鶏の割合 ¹³		$\text{ProbT} = 1 - \text{Poisson}(0, 10^{\wedge}C_post_T1, 0)$
	輸送後の鶏の真の汚染率		$P_Tt = \text{ProbT} \times P_post_T$
食鳥処理	食鳥処理前の鶏の真の汚染率		$P_pre_P = P_Tt$
	湯漬	湯漬前の鶏の汚染率	$P_pre_S = P_pre_P$
		湯漬による	$XS = \text{RiskDiscrete}(\{\text{RiskUniform}(1.05, 1.86), 1\}, \{0.5, 0.5\})$
		弱湯漬(SS)	
		交差汚染 ¹⁴	$XS = \text{RiskDiscrete}(\{\text{RiskUniform}(1.05, 1.50), 1\}, \{0.25, 0.75\})$
		強湯漬(HS)	
		湯漬後の鶏の汚染率	$P_S = (XS \times P_pre_S) / (1 - P_pre_S + XS \times P_pre_S)$
		湯漬後の汚染鶏の割合 ¹³	$\text{ProbS} = 1 - \text{Poisson}(0, 10^{\wedge}C_post_S1, 0)$
		湯漬後の鶏の真の汚染率	$P_St = P_S \times \text{ProbS}$
	脱羽	脱羽前の鶏の汚染率	$P_pre_D = P_St$
		脱羽による交差汚染 ¹⁴	$XD = \text{RiskDiscrete}(\{\text{RiskUniform}(1.05, 3.00), 1\}, \{0.8, 0.2\})$
		脱羽後の鶏の汚染率	$P_D = (XD \times P_pre_D) / (1 - P_pre_D + XD \times P_pre_D)$
		脱羽後の汚染鶏の割合 ¹³	$\text{ProbD} = 1 - \text{Poisson}(0, 10^{\wedge}C_post_D1, 0)$
		脱羽後の鶏の真の汚染率	$P_Dt = P_D \times \text{ProbD}$
	中抜き	中抜き前の鶏の汚染率	$P_pre_E = P_Dt$
		中抜きによる交差汚染 ¹⁴	$XE = \text{RiskDiscrete}(\{\text{RiskUniform}(1.05, 3.00), 1\}, \{0.6, 0.4\})$
		中抜き後の鶏の汚染率	$P_E = (XE \times P_pre_E) / (1 - P_pre_E + XE \times P_pre_E)$
		中抜き後の汚染鶏の割合 ¹³	$\text{ProbE} = 1 - \text{Poisson}(0, 10^{\wedge}C_post_E1, 0)$
		中抜き後の鶏の真の汚染率	$P_Et = P_E \times \text{ProbE}$
	洗浄	洗浄前の鶏の汚染率	$P_pre_W = P_Et$
		洗浄による交差汚染 ¹⁵	$XW = 1$
		洗浄後の鶏の汚染率	$P_W = P_pre_W$
		洗浄後の汚染鶏の割合 ¹³	$\text{ProbW} = 1 - \text{Poisson}(0, 10^{\wedge}C_post_W1, 0)$
		洗浄後の鶏の真の汚染率	$P_Wt = P_W \times \text{ProbW}$
	冷却	冷却前の鶏の汚染率	$P_pre_C = P_Wt$
		冷却による	$XC = \text{RiskDiscrete}(\{\text{RiskUniform}(1.05, 2.33), 1\}, \{0.5, 0.5\})$
		塩素非添加(nCl)	
		交差汚染 ¹⁴	$XC = \text{RiskDiscrete}(\{\text{RiskUniform}(1.05, 1.86), 1\}, \{0.25, 0.75\})$
		塩素添加(Cl)	
		冷却後の鶏の汚染率	$P_C = (XC \times P_pre_C) / (1 - P_pre_C + XC \times P_pre_C)$
		冷却後の汚染鶏の割合 ¹³	$\text{ProbC} = 1 - \text{Poisson}(0, 10^{\wedge}C_post_C1, 0)$
		冷却後の鶏の真の汚染率	$P_Ct = P_C \times \text{ProbC}$

¹³ Excel の Poisson 関数は定義式どおりに計算しようとするため、 λ が大きい場合にはエラーとなる。いま、 $\text{Poisson}(x, \lambda, 0) = e^{-\lambda} \lambda^x / x!$ だから、 $\text{Poisson}(0, \lambda, 0) = e^{-\lambda}$ を計算すればよい。

¹⁴ 実際には、@Risk では @Risk 関数を直接入れ子で記述することはできないため、交差汚染がある場合の汚染増加量(RiskUniform 関数)とない場合の汚染増加量 (1) と、それぞれの発生確率を別々のセルに入力した上で、RiskDiscrete 関数の引数にこれらのセル範囲を指定することで記述する必要がある。

¹⁵ 交差汚染は発生しない。

(3) 食鳥処理後

喫食による暴露	保管・輸送	冷蔵保管による汚染量の減少 (log CFU/Day)	LR_Rate=RiskTriang(0.04, 0.12, 0.30)
		冷蔵保管日数(Days)	Refrig_Days=RiskTriang(1.00, 3.00, 7.00)
		冷蔵による汚染量の減少(log CFU)	Effect_refrig=LR_Rate×Refrig_Days
		喫食段階での鶏肉の汚染量(log CFU)	C_Consumer=C_post_C2-Effect_refrig
	調理	鶏肉の不十分な加熱調理の割合	Prop_UC=RiskTriang(0.05, 0.10, 0.15)
		鶏肉の保護された組織の加熱時間 (min)	Time_CK=RiskTriang(0.50, 1.00, 1.50)
		鶏肉の保護された組織の温度(°C)	Temp_CK=RiskTriang(60, 64, 65)
		不十分な加熱調理による汚染量の減少(log CFU)	Effect_ck_prctct =Time_CK/10^(-0.158×Temp_CK+9.01)
		鶏肉の保護された組織のカンピロバクターの割合	Prop_prctct=RiskTriang(0.10, 0.15, 0.20)
		鶏肉の保護された組織のカンピロバクター量 (log CFU/羽)	C_Prtct=C_consumer+log(Prop_prctct)
		不十分な加熱調理によるカンピロバクターの減少 (log CFU/羽)	C_ck_prctct1= C_Prtct-Effect_ck_prctct
		不十分な加熱調理によるカンピロバクター量 (CFU/羽)	C_ck_prctct2=10^C_ck_prctct1
		喫食量(1/4の鶏)中のカンピロバクター量 (log CFU/喫食)	C_qtr1=C_ck_prctct1+log(0.25)
		" (CFU/喫食)	C_qtr2=10^C_qtr1
	間接的な暴露(交差汚染)	緩く付着しているカンピロバクターの割合(%)	Prct Loose=RiskUniform(1%, 10%)
		" (log %)	Log_prct_loose=log(Prct Loose)
		緩く付着しているカンピロバクター量(log CFU/羽)	Log_no_loose=C_post_C2+Log_prct_loose
		希釈される水の量(ml)	Dilution_Vol=RiskUniform(150, 200)
		" (log ml)	Log_dilution_vol=log(Dilution_Vol)
		食鳥処理後の水の中のカンピロバクター濃度 (log CFU/ml)	Log_conc_drip1=Log_no_loose-Log_dilution_vol
		喫食段階での水の中のカンピロバクター濃度 (log CFU/ml)	Log_conc_drip2=Log_conc_drip1-Effect_refrig
		" (CFU/ml)	Conc_drip2=10^Log_conc_drip2
		暴露される水の量	Vol_drip=RiskUniform(0.5, 1.5)
		鶏肉の水からのカンピロバクター曝露量(CFU)	No_drip=RiskPoisson(Conc_drip2×Vol_drip)
感染確率	暴露確率	鶏肉の水からの感染確率	Pinf_Drip=[1-(1-P(1))^No_Drip]×P_Ct
		カンピロバクター摂取量(CFU/喫食)	N_qtr=RiskPoisson(C_qtr2)
		用量	Dose=if(N_qtr=0,RiskDiscrete(Dose[xi],Prob[i]),N_qtr)
		カンピロバクター1個からの感染確率	P(1)=RiskBeta(0.1453, 7.589, RiskTruncate (BETAINV (0.005, 0.1453, 7.589), BETAINV(0.995, 0.1453, 7.589
		喫食によるカンピロバクター感染率	P(Dose)=1-(1-P(1))^Dose
		カンピロバクターが1個以上存在する確率	P(Dose>0)=if(N_qtr=0,1-Poisson(0,C_qtr2,0),1)
		暴露確率	P(exp)=P(D>0)×P_Ct
		喫食による感染確率	Pinf_interim=P(exp)×P(D)
		カンピロバクター感染確率	Pinf_final=Pinf_interim×Prop_UC
		" (対数)	log_Pinf=log(Pinf_final)

3. わが国の実態を反映したリスクアセスメントモデルの構築

3.1 わが国の実態を反映したリスクアセスメントモデルの構築方針

わが国の実態を反映した、鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒に関するリスクアセスメントモデルを、以下の方針に基づいて構築する。

(1) 既存のリスクアセスメントモデルの活用

さまざまなデータを用いて既に確立されている、Health Canada による鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策のリスクアセスメントモデルを活用する。

(2) Health Canada のモデルをベースとしたリスクアセスメントモデルの構築

Health Canada による鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策のリスクアセスメントモデルをベースとしつつも、わが国において収集されたデータや、わが国の鶏肉処理方法、鶏肉の喫食形態などを踏まえるなどの改良を行う。

なお、モデルの構築にあたり、わが国において収集されたデータ等が存在しない事項については、Health Canada のリスクアセスメントモデルにおいて採用されている値を用いることとする。

(3) 曝露リスクに係るリスクアセスメントモデルの構築

Health Canada のリスクアセスメントモデルにおいては、鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒の発生確率までも推定している。しかし、特に用量・反応 (Dose-Response) モデルの推定については、利用可能なデータが十分でないという問題点や、海外の用量・反応モデルをそのままわが国に適用することが妥当であるかについて疑問が残る。[92]そこで、ここでは曝露リスク (Exposure Risk) のリスクアセスメントモデルを構築する。

なお、ここで構築するリスクアセスメントモデルは、鶏肉のカンピロバクターに係る現状の曝露リスクが鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策によってどの程度低減されるかを分析することを目的としている。従って、個々のシナリオから得られる曝露リスクの絶対量よりも、現状の曝露リスクと対策を講じたときの曝露リスクの相対的差異を把握することを重視する。

3.2 Health Canada のモデルからの改良点

(1) わが国の食鳥処理方法の反映

Health Canada のモデルにおいては、湯漬方法として弱湯漬および強湯漬の2つを、冷却方法として塩素非添加および塩素添加の2つを、それぞれモデル化し、4つのパターンについて分析を行っている。

わが国では、湯漬は58～60℃の湯温で行われることが一般的であるため、湯漬方法については強湯漬のモデルを適用する。また、冷却は塩素添加で行われているが、遊離塩素濃度を5ppmに保つことは困難であるといわれており、実質的には塩素非添加で行われているものと解される。そこで、冷却方法については塩素非添加のモデルを適用する。すなわち、Health Canada のモデルにおける HSnCl のパターンを用いることとする。

(2) 農場におけるカンピロバクター濃度および汚染率

Health Canada のモデルにおいては、農場におけるカンピロバクター濃度については、鶏の糞便中のカンピロバクター濃度データに基づき、その分布を推定するとともに、鶏の体表に付着する糞便汚染量の分布を仮定し、鶏の体表に付着するカンピロバクター濃度の分布を推定している。また、農場におけるカンピロバクター汚染率については、その分布がベータ分布に従うことを仮定し、サンプル鶏数とそのうちの汚染鶏数のデータを用いてパラメータ推定を行っている。

わが国の農場におけるカンピロバクターの濃度および汚染率の推定に利用可能なデータは、厚生労働科学研究費補助金（食品の安心・安全確保推進研究事業）「細菌性食中毒の予防に関する研究（平成17年度総括・分担研究報告書）」；主任研究者高鳥浩介、分担研究報告書「鶏肉におけるカンピロバクター食中毒の予防に関する研究」（分担研究者 山本茂貴）[93]において、表 3-1 のとおり収集・整理されている。

表 3-1 鶏（盲腸内容）のカンピロバクター保菌状況

No.	農場	検査 検体	カンピロバクター(cfu/g)									陽性(%)
			—	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	
1	S	10							5	5		10(100)
2	T	10	10									0(0)
3	O	15					2	2	5	6		15(100)
4		5	5									0(0)
5	A	10						1	4	5		10(100)
6	B	33	15					3	9	6		18(55)
7	C	20	3				3	4	10			17(85)
8	D	17	11	1	2			2	1			6(35)
9	F	8	7			1						1(13)
合計		128	51	1	2	1	5	12	34	22	0	77(60)

資料：厚生労働科学研究費補助金報告書[94]より作成

1) 農場におけるカンピロバクター濃度

表 3-1 のデータのうち、カンピロバクターが検出されなかった 51 サンプルを除く 77 サンプルの汚染鶏のデータ (表 3-2) に基づいて、汚染鶏 (盲腸内容) のカンピロバクター濃度の分布 Cc_F が Health Canada と同様に正規分布に従うものと仮定して、そのパラメータを以下のとおり推定した (図 3-1)。

Health Canada の糞便中のカンピロバクター濃度の分布 Cf_F に比べて、平均値が 2 log 程度大きく、標準偏差は約 4 割小さい。

汚染鶏 (盲腸内容) のカンピロバクター濃度 : $Cc_F \sim \text{Normal}(7.16916, 0.85074)$ log CFU/g

表 3-2 農場における汚染鶏 (盲腸内容) のカンピロバクターの対数濃度データ

対数濃度(log CFU/g)	2	3	4	5	6	7	8	9	合計
サンプル数	1	2	1	5	12	34	22	0	77

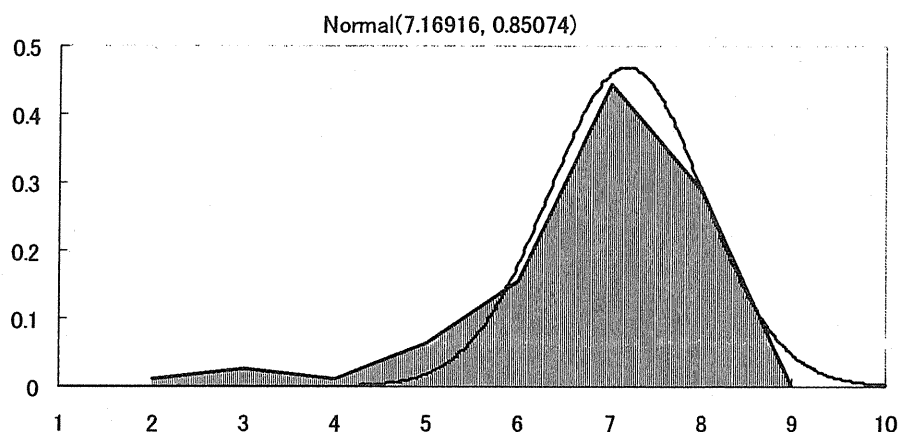


図 3-1 盲腸内容のカンピロバクター濃度のデータと適合分布

2) 農場におけるカンピロバクター汚染率

表 3-1 のデータは飼養中の鶏に係るカンピロバクター汚染率データである。出荷時 (食鳥処理前) には、汚染農場で飼養される鶏は全て汚染されると考えられる。そこで、出荷時には表 3-1 の 128 サンプルのうち非汚染農場 (No.2 および 4) で飼養される 15 サンプルを除く 113 サンプルは全て汚染されていると仮定する (汚染率 88.3%)。

食鳥処理前のカンピロバクター汚染率 P_Post_T はベータ分布に従うため、事前分布を $\text{Beta}(1,1)$ とすれば、その分布は次式のとおり推定される¹⁶。

農場におけるカンピロバクター汚染率 : $P_Post_T \sim \text{Beta}(114, 16)$

¹⁶ 長谷川専・堤盛人「入門リスク分析」勁草書房, pp.98-99, 2003(原著: David Vose "Risk Analysis - A Quantitative Guide", Wiley, 2000)

(3) 食鳥処理によるカンピロバクター濃度の対数変化

Health Canada のモデルにおいては、さまざまな文献からのデータを活用して各食鳥処理プロセスによるカンピロバクター濃度の対数変化を三角分布によってモデル化している。しかし、三角分布のパラメータ推定が各種データに基づいて適切に行われていないものもある。

そこで、本研究では、HealthCanada のレポートにおいて示されているデータに基づいて、@Risk の BestFit 機能を用いて食鳥処理によるカンピロバクター濃度の減少効果に係る三角分布のパラメータ推定をあらためて実施した¹⁷。

1) 強湯漬

Health Canada のモデルでは、日本の湯漬方法である強湯漬によるカンピロバクター濃度の対数変化は、弱湯漬のそれをベースとして推定されている。弱湯漬によるカンピロバクターの対数変化 Effect_Scald(SS)は $\text{Triang}(-3.50, -3.00, +0.25)$ とされている。最大値と最小値は専門家としての知見を踏まえた設定であるため、これらを固定して表 2-2 のデータに適合させると、脚注5に示したとおり、最確値は-3.40 となる。すなわち、 $\text{Triang}(-3.50, -3.40, +0.25)$ が適合分布となる (図 3-2)。

Health Canada のモデルでは、強湯漬によるカンピロバクター濃度の対数変化は、弱湯漬に関する分布について、最小値、最確値を 0.5 だけ減少させ¹⁸、最大値を-0.75 としている。この推定方法を踏襲すれば、Effect_Scald(HS)は次式のとおり推定される。

強湯漬によるカンピロバクター濃度の対数変化：

$$\text{Effect_Scald(HS)} \sim \text{Triang}(-4.00, -3.90, -0.75) \log \text{CFU/羽}$$

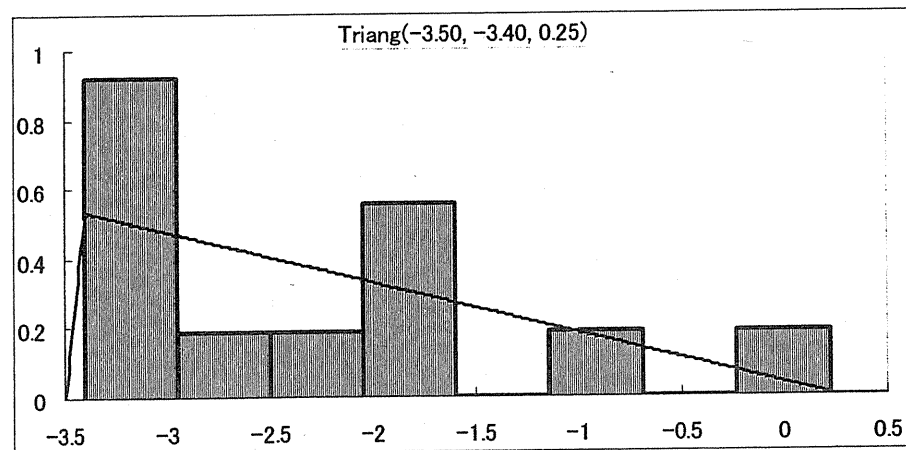


図 3-2 弱湯漬によるカンピロバクター濃度の対数変化

¹⁷ データに加えて、専門家としての知見を踏まえてパラメータを設定しているものを除く。

¹⁸ Health Canada の最小値-4.0 および最確値-3.50 は表 2-3 のデータからは大きく乖離していることから、データによらず弱湯漬の最小値、最確値を単純に0.5 だけシフトさせて設定したものと解される。

2) 脱羽

Health Canada のモデルでは、脱羽によるカンピロバクター濃度の対数変化 Effect_Def は $\text{Triang}(-1.0, 0.5, 3.0)$ と推定されている。最大値と最小値は専門家としての知見を踏まえた設定であるため、これらを固定して表 2・4、表 2・5 のデータに適合させると、最確値は -0.13 となる (図 3-3)。従って、Effect_Def は次式のとおり推定される。

脱羽によるカンピロバクター濃度の対数変化：

$$\text{Effect_Def} \sim \text{Triang}(-1.00, -0.13, 3.00) \quad \log \text{ CFU/羽}$$

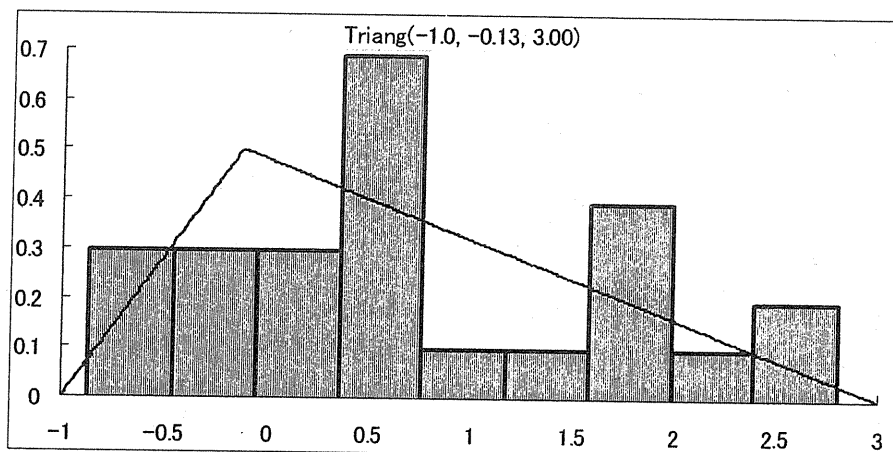


図 3-3 脱羽によるカンピロバクター濃度の対数変化

3) 中抜き

Health Canada のモデルでは、脱羽によるカンピロバクター濃度の対数変化 Effect_Evisc は $\text{Triang}(-0.5, 0.0, 2.0)$ と推定されている。最大値と最小値は専門家としての知見を踏まえた設定であるため、これらを固定して表 2・6 および表 2・7 のデータに適合させると、最確値は -0.5 となる (図 3-4)。従って、Effect_Evisc は次式のとおり推定される。

中抜きによるカンピロバクター濃度の対数変化：

$$\text{Effect_Evisc} \sim \text{Triang}(-0.5, -0.5, 2.0) \quad \log \text{ CFU/羽}$$

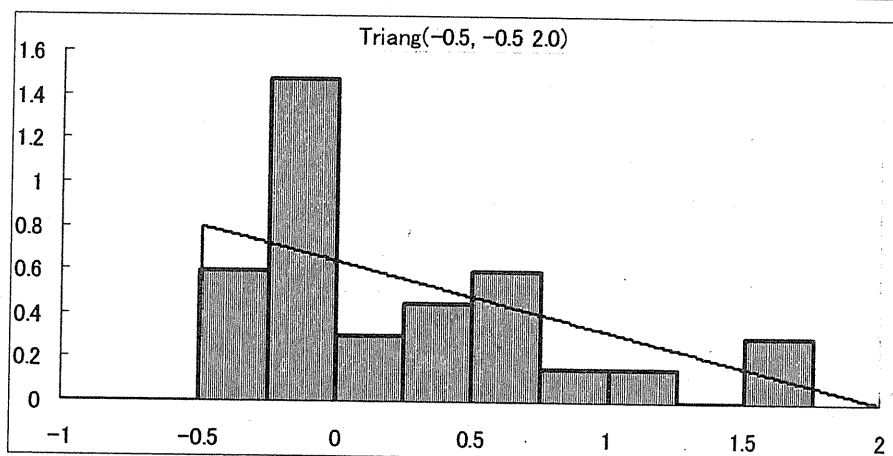


図 3-4 中抜きによるカンピロバクター濃度の対数変化

4) 洗浄

Health Canada のモデルでは、洗浄によるカンピロバクター濃度の対数変化 Effect_Wash は $\text{Triang}(-1.5, -0.5, 0.0)$ と推定されている。最大値と最小値は専門家としての知見を踏まえた設定であるため、これらを固定して表 2・8 および表 2・9 のデータに適合させると、最確値は -0.45 となる (図 3・5)。従って、Effect_Wash は次式のとおり推定される。

中抜きによるカンピロバクター濃度の対数変化：

$$\text{Effect_Wash} \sim \text{Triang}(-1.50, -0.45, 0.00) \quad \log \text{ CFU/羽}$$

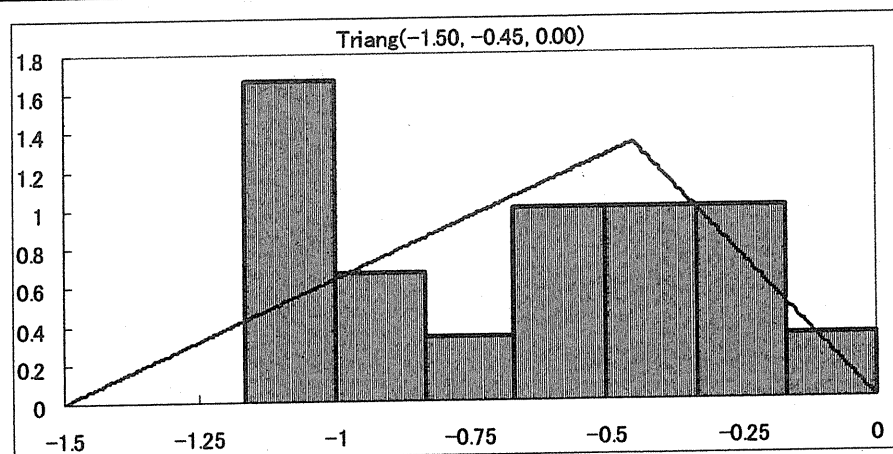


図 3-5 洗浄によるカンピロバクター濃度の対数変化

5) 冷却

① 冷却 (塩素非添加)

Health Canada のモデルでは、冷却 (塩素非添加) によるカンピロバクター濃度の対数変化 Effect_Cill(nCl) は $\text{Triang}(-2.0, -0.75, 0.0)$ と推定されている。最大値と最小値は専門家としての知見を踏まえた設定であるため、これらを固定して表 2・10 のデータに適合させると、最確値は -0.70 となる (図 3・6)。従って、Effect_Cill(nCl) は次式のとおり推定される。

冷却 (塩素非添加) によるカンピロバクター濃度の対数変化：

$$\text{Effect_Cill(nCl)} \sim \text{Triang}(-2.0, -0.7, 0.0) \quad \log \text{ CFU/羽}$$

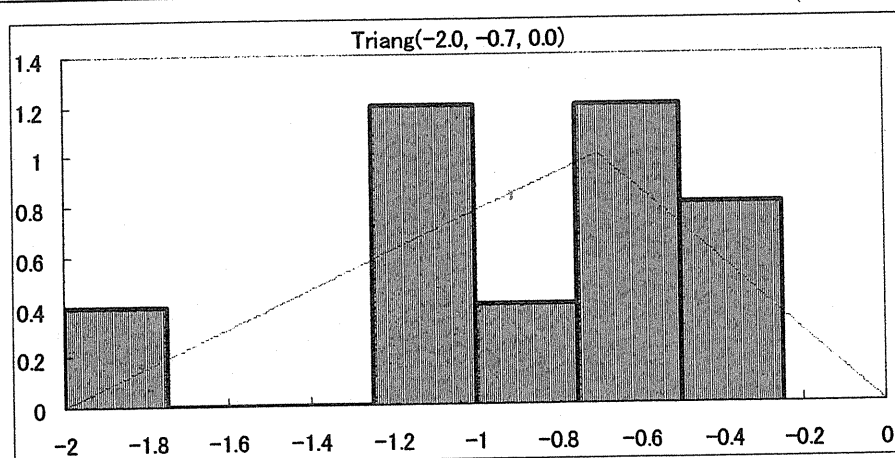


図 3-6 冷却 (塩素非添加) によるカンピロバクター濃度の対数変化

(4) 食鳥処理後の保管・輸送

Health Canada のモデルにおいては、食鳥処理後に生鶏肉が喫食者に渡るまでの期間 Refrig_Day は Triang(1,3,7) (日) とモデル化されている。しかし、日本では朝に屠殺された鶏が夕方にはスーパーに並ぶことも多く、長くても 2、3 日である。そこで、本研究では、Refrig_Day を Triang(0.5,0.75,3) (日) とモデル化する。

冷蔵庫での保管期間：Refrig_Day~Triang(0.5,0.75,3) 日

(5) 鶏肉の不十分な加熱調理の割合

Health Canada のモデルにおいては、不十分な加熱調理の割合 Prop_UC は Triang(0.05, 0.10,0.15) とモデル化されている。日本での不十分な加熱調理の割合 Prop_UC は 10%~20% と仮定し、本研究では、Prop_UC を Triang(0.10,0.15,0.20) とモデル化する。

不十分な加熱調理の割合：Prop_UC~Triang(0.10,0.15,0.20)

(6) 鶏の生食による曝露

わが国では鶏肉を生で食べる独特の食習慣がある（鶏刺し、タタキ等）。生食ではカンピロバクター濃度は一切減少しないため、加熱調理が不十分な鶏肉の喫食よりも曝露リスクは大きい。そこで、本研究では、生食による曝露という曝露経路についてもモデル化する。

わが国において鶏肉を生食する割合に関するデータはない。一生に 1 度、鶏肉を生食するかもしれないという頻度は、 $1/(100 \times 365 \times 3) = 0.000913\% \approx 0.001\%$ である。一方、鶏刺しは九州の食文化といわれるように、鶏肉を生食する頻度が高い地域もあると考えられる。月に 1 回、鶏肉を生食する場合の頻度は、 $1/(30 \times 3) = 1.1\% \approx 1\%$ である。そこで、わが国において鶏肉を生食する割合の対数分布を三角分布 Triang(-3,-3,0) (log %) と仮定する。なお、鶏肉を生食する割合 (%) の分布 ($10^{\wedge} \text{Triang}(-3,-3,0)$) は図 3-7 に示すとおりである。この分布では、平均が 0.0416% (2~3 年に 1 回程度)、95% 値で 0.213% (半年弱に 1 回程度) となる。

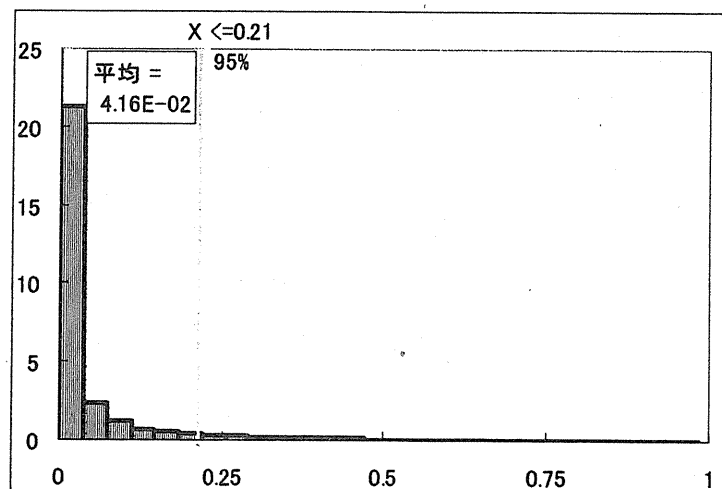


図 3-7 鶏肉を生食する割合 (%)

3.3 改良モデル概要

(1) カンピロバクター濃度

農場	汚染鶏（盲腸内容）のカンピロバクター濃度 (log CFU/g)	$Cc_F = \text{RiskNormal}(7.16916, 0.85074)$
	鶏体表に付着する糞便濃度(g/羽)	$fb_F = \text{RiskUniform}(0.50, 5.00)$
	鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽)	$C_F1 = Cc_F + \log(fb_F)$
輸送	輸送前の鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)	$C_pre_T = C_F1$
	輸送による汚染量の増大(log CFU)	$Mag_T = \text{RiskTriang}(0.00, 1.50, 3.00)$
	輸送後の鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)	$C_post_T1 = C_pre_T + Mag_T$
	輸送後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)	$C_post_T2 = \log(10^{(C_post_T1) / \text{ProbT}})$
食鳥処理	食鳥処理前の鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)	$C_pre_P = C_post_T2$
	湯漬の効果：強湯漬(HS) (log CFU/羽)	$\text{Effect_Scald} = \text{RiskTriang}(-4.00, -3.90, -0.75)$
	湯漬後の鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)	$C_post_S1 = C_pre_P + \text{Effect_Scald}$
	湯漬後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)	$C_post_S2 = \log(10^{(C_post_S1) / \text{ProbS}})$
	脱羽の効果(log CFU/羽)	$\text{Effect_Def} = \text{RiskTriang}(-1.00, -0.13, 3.00)$
	脱羽後の鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)	$C_post_D1 = C_post_S2 + \text{Effect_Def}$
	脱羽後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)	$C_post_D2 = \log(10^{(C_post_D1) / \text{ProbD}})$
	中抜き効果(log CFU/羽)	$\text{Effect_Evisc} = \text{RiskTriang}(-0.5, -0.5, 2.0)$
	中抜き後の鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)	$C_post_E1 = C_post_D2 + \text{Effect_Evisc}$
	中抜き後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)	$C_post_E2 = \log(10^{(C_post_E1) / \text{ProbE}})$
	洗浄効果(log CFU/羽)	$\text{Effect_Wash} = \text{RiskTriang}(-1.50, -0.45, 0.00)$
	洗浄後の鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)	$C_post_W1 = C_post_E2 + \text{Effect_Wash}$
	洗浄後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)	$C_post_W2 = \log(10^{(C_post_W1) / \text{ProbW}})$
	冷却効果：塩素非添加(nCl) (log CFU/羽)	$\text{Effect_Cill} = \text{RiskTriang}(-2.0, -0.7, 0.0)$
	冷却後の鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)	$C_post_C1 = C_post_W2 + \text{Effect_Chill}$
	冷却後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度 (log CFU/羽)	$C_post_C2 = \log(10^{(C_post_C1) / \text{ProbC}})$

(2) 汚染率

処理前	輸送後の鶏の汚染率		$P_post_T = RiskBeta(114, 16)$
	輸送後の汚染鶏の割合 ¹³		$ProbT = 1 - Poisson(0, 10^C_post_T1, 0)$
食鳥処理	輸送後の鶏の真の汚染率		$P_Tt = ProbT \times P_post_T$
	食鳥処理前の鶏の真の汚染率		$P_pre_P = P_Tt$
	湯漬	湯漬前の鶏の汚染率	$P_pre_S = P_pre_P$
		湯漬による交差汚染 ¹⁴	弱湯漬(SS) $XS = RiskDiscrete(\{RiskUniform(1.05, 1.86), 1\}, \{0.5, 0.5\})$
			強湯漬(HS) $XS = RiskDiscrete(\{RiskUniform(1.05, 1.50), 1\}, \{0.25, 0.75\})$
		湯漬後の鶏の汚染率	$P_S = (XS \times P_pre_S) / (1 - P_pre_S + XS \times P_pre_S)$
		湯漬後の汚染鶏の割合 ¹³	$ProbS = 1 - Poisson(0, 10^C_post_S1, 0)$
		湯漬後の鶏の真の汚染率	$P_St = P_S \times ProbS$
	脱羽	脱羽前の鶏の汚染率	$P_pre_D = P_St$
		脱羽による交差汚染 ¹⁴	$XD = RiskDiscrete(\{RiskUniform(1.05, 3.00), 1\}, \{0.8, 0.2\})$
		脱羽後の鶏の汚染率	$P_D = (XD \times P_pre_D) / (1 - P_pre_D + XD \times P_pre_D)$
		脱羽後の汚染鶏の割合 ¹³	$ProbD = 1 - Poisson(0, 10^C_post_D1, 0)$
		脱羽後の鶏の真の汚染率	$P_Dt = P_D \times ProbD$
	中抜き	中抜き前の鶏の汚染率	$P_pre_E = P_Dt$
		中抜きによる交差汚染 ¹⁴	$XE = RiskDiscrete(\{RiskUniform(1.05, 3.00), 1\}, \{0.6, 0.4\})$
		中抜き後の鶏の汚染率	$P_E = (XE \times P_pre_E) / (1 - P_pre_E + XE \times P_pre_E)$
		中抜き後の汚染鶏の割合 ¹³	$ProbE = 1 - Poisson(0, 10^C_post_E1, 0)$
		中抜き後の鶏の真の汚染率	$P_Et = P_E \times ProbE$
	洗浄	洗浄前の鶏の汚染率	$P_pre_W = P_Et$
		洗浄による交差汚染 ¹⁵	$XW = 1$
		洗浄後の鶏の汚染率	$P_W = P_pre_W$
		洗浄後の汚染鶏の割合 ¹³	$ProbW = 1 - Poisson(0, 10^C_post_W1, 0)$
		洗浄後の鶏の真の汚染率	$P_Wt = P_W \times ProbW$
冷却	冷却前の鶏の汚染率		$P_pre_C = P_Wt$
	冷却による交差汚染 ¹⁴	塩素非添加(nCl)	$XC = RiskDiscrete(\{RiskUniform(1.05, 2.33), 1\}, \{0.5, 0.5\})$
		塩素添加(Cl)	$XC = RiskDiscrete(\{RiskUniform(1.05, 1.86), 1\}, \{0.25, 0.75\})$
	冷却後の鶏の汚染率		$P_C = (XC \times P_pre_C) / (1 - P_pre_C + XC \times P_pre_C)$
	冷却後の汚染鶏の割合 ¹³		$ProbC = 1 - Poisson(0, 10^C_post_C1, 0)$
	冷却後の鶏の真の汚染率		$P_Ct = P_C \times ProbC$

(3) 食鳥処理後

保管輸送	冷蔵保管による汚染量の減少 (log CFU/Day)	$LR_Rate = RiskTriang(0.04, 0.12, 0.30)$
	冷蔵保管日数(Days)	$Refrig_Days = RiskTriang(0.5, 0.75, 3)$
喫食による暴露	冷蔵による汚染量の減少(log CFU)	$Effect_refrig = LR_Rate \times Refrig_Days$
	喫食段階での鶏肉の汚染量(log CFU)	$C_Consumer = C_post_C2 - Effect_refrig$
	鶏肉の不十分な加熱調理の割合	$Prop_UC = RiskTriang(0.10, 0.15, 0.20)$
	鶏肉の保護された組織の加熱時間 (min)	$Time_CK = RiskTriang(0.50, 1.00, 1.50)$
	鶏肉の保護された組織の温度(°C)	$Temp_CK = RiskTriang(60, 64, 65)$
	不十分な加熱調理による汚染量の減少(log CFU)	$Effect_ck_prtct = Time_CK / 10^{(-0.158 \times Temp_CK + 9.01)}$
	鶏肉の保護された組織のカンピロバクターの割合	$Prop_prtct = RiskTriang(0.10, 0.15, 0.20)$
	鶏肉の保護された組織のカンピロバクター量 (log CFU/羽)	$C_Prctct = C_consumer + \log(Prop_prtct)$
	不十分な加熱調理によるカンピロバクターの減少 (log CFU/羽)	$C_ck_prtct1 = C_Prctct - Effect_ck_prtct$
	不十分な加熱調理によるカンピロバクター量 (CFU/羽)	$C_ck_prtct2 = 10^{C_ck_prtct1}$
	喫食量(1/4の鶏)中のカンピロバクター量 (log CFU/喫食)	$C_qtr1 = C_ck_prtct1 + \log(0.25)$
	〃 (CFU/喫食)	$C_qtr2 = 10^{C_qtr1}$
	不十分な加熱調理による曝露リスク(CFU/喫食)	$C_exp1 = C_qtr2 \times Prop_UC \times P_Ct$
	鶏肉を生食する割合(log %)	$Prop_RC = RiskTriang(-3, -3, 0)$
	喫食量(1/4の鶏(生食))中のカンピロバクター量 log CFU/喫食	$C_row_qtr1 = C_consumer + Prop_RC + \log(0.25)$
	〃 (CFU/喫食)	$C_row_qtr2 = 10^{C_row_qtr1}$
	主食による曝露リスク(CFU/喫食)	$C_exp2 = 10^{(Prop_RC + C_row_qtr1)} \times P_Ct$
間接的な暴露(交差汚染)	鶏肉を生食する割合(log %)	$Prop_RC = RiskTriang(-3, -3, 0)$
	喫食量(1/4の鶏(生食))中のカンピロバクター量 log CFU/喫食	$C_row_qtr1 = C_consumer + Prop_RC + \log(0.25)$
	〃 (CFU/喫食)	$C_row_qtr2 = 10^{C_row_qtr1}$
	主食による曝露リスク(CFU/喫食)	$C_exp2 = 10^{(Prop_RC + C_row_qtr1)} \times P_Ct$
	緩く付着しているカンピロバクターの割合(%)	$Prcnt_Loose = RiskUniform(1\%, 10\%)$
	〃 (log %)	$Log_prcnt_loose = \log(Prcnt_Loose)$
	緩く付着しているカンピロバクター量(log CFU/羽)	$Log_no_loose = C_post_C2 + Log_prcnt_loose$
	希釈される水の量(ml)	$Dilution_Vol = RiskUniform(150, 200)$
	〃 (log ml)	$Log_dilution_vol = \log(Dilution_Vol)$
	食鳥処理後の水の中のカンピロバクター濃度 (log CFU/ml)	$Log_conc_drip1 = Log_no_loose - Log_dilution_vol$
	喫食段階での水の中のカンピロバクター濃度 (log CFU/ml)	$Log_conc_drip2 = Log_conc_drip1 - Effect_refrig$
交差汚染による曝露	〃 (CFU/ml)	$Conc_drip2 = 10^{Log_conc_drip2}$
	暴露される水の量	$Vol_drip = RiskUniform(0.5, 1.5)$
	鶏肉の水からのカンピロバクター曝露量(CFU) ¹⁹	$No_drip = Conc_drip2 \times Vol_drip$
	交差汚染による曝露リスク(CFU/喫食)	$Cross_exp = No_drip \times P_Ct$

¹⁹ Health Canada のモデルでは、 $No_drip = RiskPoisson(Conc_drip2 \times Vol_drip)$ として、感染リスクの算出を行っているが、ここでは確率的な曝露リスクを求めるために、ポアソン分布を用いた操作は行っていない。

4. 鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策のリスクアセスメント

ここでは、3. で構築したわが国の実態を反映したリスクアセスメントモデルを用いて、4つの食中毒対策シナリオを設定し、当該対策によって鶏肉のカンピロバクターの曝露リスクがどれだけ低減するかを定量的に検討し、当該対策の有効性を把握する。

4.1 鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策のシナリオ

(1) 食鳥処理プロセスの冷却段階における塩素濃度管理の徹底

3. で構築したモデルにおいて、食鳥処理プロセスの冷却段階については、わが国は塩素の添加が行われているものの、塩素濃度の管理が困難とされていることから⁶塩素非添加としてモデル化を行っている。塩素濃度管理を徹底すれば、冷却段階でのカンピロバクター濃度を下げることが可能である。そこで、鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策として、塩素濃度管理の徹底を図り、冷却時の塩素添加が有効化されることを検討する (H₂SnCl→HSCl)。

ここで、この食中毒対策シナリオの検討にあたり、3.2と同様に、Health Canada の冷却 (塩素添加) によるカンピロバクター濃度の対数変化 Effect_Cill(CI)のデータに基づく適合分布を推定する必要がある。

Health Canada のモデルでは、冷却 (塩素添加) によるカンピロバクター濃度の対数変化 Effect_Cill(CI)は Triang(-2.5,-1.25,-0.25)と推定されている。最大値と最小値は専門家としての知見を踏まえた設定であるため、これらを固定して表 2・11のデータに適合させると、最確値は-1.28となる (図 4・1)。従って、Effect_Cill(nCI)は次式のとおり推定される。

冷却 (塩素添加) によるカンピロバクター濃度の対数変化：

$$\text{Effect_Cill(CI)} \sim \text{Triang}(-2.5, -1.28, -0.25) \quad \log \text{ CFU/羽}$$

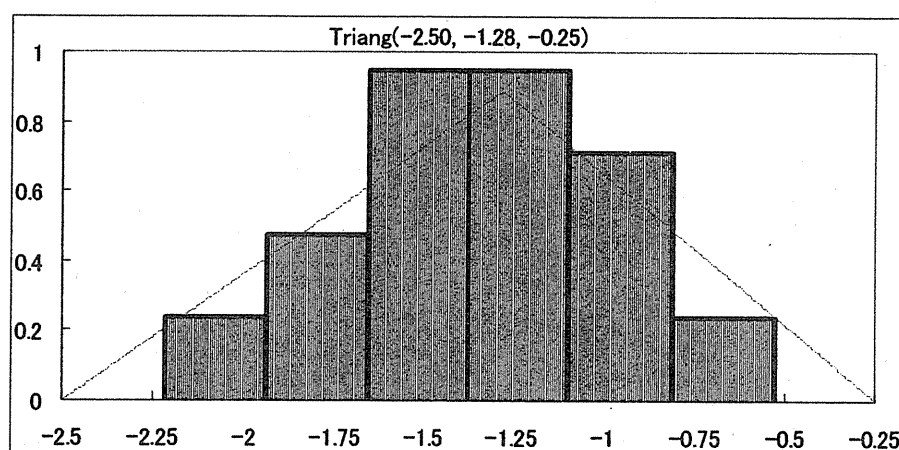


図 4-1 冷却 (塩素非添加) によるカンピロバクター濃度の対数変化

(2) 農場における感染予防対策の実施

表 3-1 に示したとおり、9 農場のうち汚染鶏が検出されなかった農場が 2 農場ある。農場での感染予防対策を講じることで非汚染農場を増加させれば、出荷時（輸送前）の鶏の汚染率を下げるができる。そこで、鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策として、農場における感染予防対策を講じ、農場での鶏の汚染率を低下させることを検討する。

ここで、農場においてどのような感染予防対策を講じれば、農場での鶏の汚染率がどの程度低下するかは不明である。そこで、本研究では、何らかの感染予防対策により、現行の平均汚染率 88.3% が 75%、50%、25% および 10% に低下した場合を想定して検討を行う。

3. で構築したモデルにおいて、農場における鶏の汚染率については、128 サンプルのうち、非汚染農場の 15 サンプルを除く 113 サンプルが汚染鶏として、ベータ分布のパラメータ推定を行った²⁰。ここでは、このパラメータ推定の方法と整合的に平均汚染率を 75%、50%、25% および 10% とするために、128 サンプルのうち汚染鶏サンプルがいくつになればよいかを検討することでパラメータの設定を行う。

汚染鶏サンプル数を x とすると、鶏の汚染率分布の尤度関数は $\text{Beta}(s, 128-s)$ となる。 $\text{Beta}(\alpha_1, \alpha_2)$ の平均は $\alpha_1/(\alpha_1+\alpha_2)$ で表されることから、この尤度関数の平均は $s/128$ となる。従って、各平均汚染率を与える汚染鶏サンプルの数および汚染率の分布（事後分布）は表 4-1 に示すとおり推定される。

表 4-1 所与の平均汚染率を与える汚染鶏サンプルの数および汚染率の分布

平均汚染率	汚染鶏サンプル数	汚染率の分布
75%	96	$\text{Beta}(97, 33)$
50%	64	$\text{Beta}(65, 65)$
25%	32	$\text{Beta}(33, 97)$
10%	13	$\text{Beta}(13, 117)$

(3) 消費者教育の実施

図 2-12 に示されているとおり、鶏肉のカンピロバクターに係る感染リスク、すなわち曝露リスクに最も影響が大きい要因は不十分な加熱調理である。また、わが国独特の食習慣である鶏の生食は曝露リスクにさらに大きな影響をもたらすと考えられる。そこで、消費者教育の実施により、十分な加熱調理の徹底を図るとともに、できる限り鶏肉を生食しないようにすることは曝露リスクの低下に大きく寄与すると考えられる。

そこで、本研究では、鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策として、消費者教育により、鶏肉の不十分な加熱調理の割合 Prop_UC を現状の 5 割程度の水準にするとともに、生食の割合 Prop_RC を最大でも月 1 回程度から年 1 回程度に抑制することを検討する。

鶏肉の不十分な加熱調理の割合 : $\text{Prop_UC} \sim \text{Triang}(0.05, 0.075, 0.10)$
 鶏肉を生食する割合 : $\text{Prop_RC} \sim \text{Triang}(-3, -3, -1) \log\%$

²⁰ n サンプルのうち s サンプルが汚染されている場合、汚染率の分布は事前分布を $\text{Beta}(1, 1)$ と仮定すると $\text{Beta}(s+1, n-s+1)$ で表される

4.2 鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策のリスクアセスメント

ここでは、3. で構築したモデルを用いて、鶏肉のカンピロバクターに係る食中毒対策を実施していない現状（ベースケース）と、4.1 に示した4つの食中毒対策シナリオおよびその組み合わせについて、同時²¹にシミュレーションを実施した。シミュレーションにおいては、@Risk を用いて10万回の試行を行った。

なお、シミュレーションの結果、曝露リスクの値はゼロに近い値に極めて偏っている一方で、その範囲は大きな値にまでわたっているため、その分布をグラフで図示しても視覚的にその形状や他のアウトプットとの差異を把握することは困難である。そこで、シミュレーションによって得られた曝露リスクの分布は、グラフではなく統計値で示すこととする。

（1）食中毒対策を実施していない現状（ベースケース）における曝露リスク

食中毒対策を実施していない現状（ベースケース）における曝露リスクの分布に係る統計値を表 4-2 に示す。いずれの曝露経路についても、分布の範囲は広く、不十分な加熱調理で33 オーダー、生食で16 オーダー、交差汚染で15 オーダーの違いがある。この結果から、鶏肉のカンピロバクターに係る曝露リスクには大きな不確実性と変動性があるといえる。また、平均値が95%値よりも大きい値になっていることから、分布はゼロに近い値に極めて偏っており、その範囲はかなり広いことが分かる。

分布がこのような形状であることから、曝露リスクの代表値として50%値に着目すると、不十分な加熱調理による曝露リスクに比べ、交差汚染による曝露リスクは約5千万倍、生食による曝露リスクは約5億倍も大きいことが分かる。

表 4-2 ベースケースにおける曝露リスクの分布

曝露経路	最小値	5%値	50%値	95%値	平均値	最大値
不十分な加熱調理	2.92E-26	8.17E-15	1.04E-06	1.12E+00	6.46E+02	3.85E+07
生食	5.40E-05	4.65E-01	4.90E+02	8.53E+05	1.58E+07	6.37E+11
交差汚染	7.49E-06	7.20E-02	5.20E+01	5.41E+04	3.86E+05	1.19E+10

（2）冷却段階における塩素濃度管理の徹底

冷却段階における塩素濃度管理の徹底（HSnCl→HSCl）を図った場合の曝露リスクの分布に係る統計値を表 4-3 に示す。50%値に着目すると、この食中毒対策により、いずれの曝露経路についても、曝露リスクはベースケースの約36%に低減していることが分かる。

²¹ モデルにおいては、ベースケースおよび各食中毒対策シナリオで共通に用いられる確率分布が多数ある。全てのシナリオについて同時にシミュレーションを実行すれば、当該確率分布から抽出される標本を共通に用いることで、サンプリングバイアスを排除することができる（シミュレーションは十分な試行回数で実行しているため、もともとサンプリングバイアスは小さいと考えられる）。

表 4-3 冷却段階における塩素濃度管理を徹底した場合の曝露リスクの分布

曝露経路	最小値	5 %値	50%値	95%値	平均値	最大値
不十分な加熱調理	1.20E-26 (41.1%)	2.96E-15 (36.2%)	3.76E-07 (36.3%)	4.12E-01 (36.9%)	6.05E+02 (93.7%)	5.39E+07 (140.1%)
生食	1.82E-05 (33.7%)	1.60E-01 (34.3%)	1.75E+02 (35.6%)	3.22E+05 (37.7%)	5.96E+06 (37.8%)	2.72E+11 (42.8%)
交差汚染	2.96E-06 (39.6%)	2.51E-02 (34.9%)	1.86E+01 (35.8%)	2.05E+04 (37.8%)	5.05E+05 (130.8%)	4.34E+10 (363.5%)

括弧内の数値は、ベースケースを基準とした曝露リスクの比率

(3) 農場における感染予防対策の実施

農場における感染予防対策を実施し、農場での鶏の汚染率がベースケースの 88.3%から 75%、50%、25%および 10%にそれぞれ減少した場合の、曝露リスクの分布に係る統計値を表 4-4 に示す。50%値に着目すると、この食中毒対策により、いずれの曝露経路についても、曝露リスクはベースケースの約 94% (汚染率 75%)、78~79% (汚染率 50%)、53~54% (汚染率 25%)、約 27% (汚染率 10%) に低減していることが分かる。

表 4-4 農場における感染予防対策を実施した場合の曝露リスクの分布

農場汚染率	曝露経路	最小値	5 %値	50%値	95%値	平均値	最大値
75%	不十分な加熱調理	2.53E-26 (86.6%)	7.57E-15 (92.6%)	9.71E-07 (93.7%)	1.05E+00 (93.8%)	5.92E+02 (91.5%)	3.52E+07 (91.4%)
	生食	4.67E-05 (86.5%)	4.38E-01 (94.2%)	4.59E+02 (93.8%)	8.01E+05 (93.9%)	1.48E+07 (94.0%)	5.88E+11 (92.4%)
	交差汚染	6.46E-06 (86.3%)	6.73E-02 (93.4%)	4.88E+01 (93.9%)	5.07E+04 (93.6%)	3.60E+05 (93.3%)	1.10E+10 (92.3%)
50%	不十分な加熱調理	1.59E-26 (54.5%)	6.30E-15 (77.1%)	8.12E-07 (78.4%)	8.77E-01 (78.5%)	4.73E+02 (73.2%)	2.85E+07 (73.9%)
	生食	3.14E-05 (58.2%)	3.61E-01 (77.6%)	3.86E+02 (78.8%)	6.73E+05 (78.9%)	1.19E+07 (75.5%)	4.41E+11 (69.3%)
	交差汚染	4.34E-06 (58.0%)	5.58E-02 (77.5%)	4.07E+01 (78.3%)	4.20E+04 (77.6%)	2.90E+05 (75.1%)	8.80E+09 (73.7%)
25%	不十分な加熱調理	7.51E-27 (25.7%)	4.34E-15 (53.1%)	5.53E-07 (53.4%)	6.01E-01 (53.8%)	3.14E+02 (48.5%)	1.63E+07 (42.2%)
	生食	2.16E-05 (40.0%)	2.46E-01 (52.9%)	2.65E+02 (54.1%)	4.59E+05 (53.8%)	7.78E+06 (49.3%)	2.43E+11 (38.1%)
	交差汚染	2.99E-06 (39.9%)	3.76E-02 (52.2%)	2.80E+01 (53.9%)	2.92E+04 (53.9%)	1.91E+05 (49.4%)	5.75E+09 (48.2%)
10%	不十分な加熱調理	3.32E-27 (11.3%)	2.21E-15 (27.0%)	2.79E-07 (26.9%)	3.07E-01 (27.4%)	1.16E+02 (17.9%)	4.62E+06 (12.0%)
	生食	7.84E-06 (14.5%)	1.20E-01 (25.7%)	1.33E+02 (27.1%)	2.42E+05 (28.4%)	3.69E+06 (23.4%)	9.49E+10 (14.9%)
	交差汚染	1.08E-06 (14.5%)	1.84E-02 (25.5%)	1.39E+01 (26.8%)	1.51E+04 (27.9%)	9.22E+04 (23.9%)	3.04E+09 (25.5%)

括弧内の数値は、ベースケースを基準とした曝露リスクの比率

(4) 消費者教育の実施（加熱調理徹底）

消費者教育の実施により加熱調理を徹底した場合の、曝露リスクの分布に係る統計値を表 4-5 に示す。この食中毒対策は不十分な加熱調理による曝露にのみ影響をもたらす。当該曝露経路の 50% 値に着目すると、この食中毒対策により、曝露リスクはベースケースの約 51% に低減していることが分かる。

表 4-5 加熱調理を徹底した場合の曝露リスクの分布

曝露経路	最小値	5 % 値	50% 値	95% 値	平均値	最大値
不十分な加熱調理	1.75E-26 (59.7%)	4.10E-15 (50.2%)	5.26E-07 (50.8%)	5.70E-01 (51.0%)	3.27E+02 (50.6%)	1.98E+07 (51.3%)
生食	5.40E-05 (100.0%)	4.65E-01 (100.0%)	4.90E+02 (100.0%)	8.53E+05 (100.0%)	1.58E+07 (100.0%)	6.37E+11 (100.0%)
交差汚染	7.49E-06 (100.0%)	7.20E-02 (100.0%)	5.20E+01 (100.0%)	5.41E+04 (100.0%)	3.86E+05 (100.0%)	1.19E+10 (100.0%)

括弧内の数値は、ベースケースを基準とした曝露リスクの比率

(5) 消費者教育の実施（生食抑制）

消費者教育の実施により生食を抑制した場合の、曝露リスクの分布に係る統計値を表 4-6 に示す。この食中毒対策は生食による曝露にのみ影響をもたらす。当該曝露経路の 50% 値に着目すると、この食中毒対策により、曝露リスクはベースケースの約 47% に低減していることが分かる。

表 4-6 生食を抑制した場合の曝露リスクの分布

曝露経路	最小値	5 % 値	50% 値	95% 値	平均値	最大値
不十分な加熱調理	2.92E-26 (100.0%)	8.17E-15 (100.0%)	1.04E-06 (100.0%)	1.12E+00 (100.0%)	6.46E+02 (100.0%)	3.85E+07 (100.0%)
生食	5.92E-05 (109.6%)	2.79E-01 (60.1%)	2.28E+02 (46.6%)	2.86E+05 (33.5%)	2.67E+06 (16.9%)	6.51E+10 (10.2%)
交差汚染	7.49E-06 (100.0%)	7.20E-02 (100.0%)	5.20E+01 (100.0%)	5.41E+04 (100.0%)	3.86E+05 (100.0%)	1.19E+10 (100.0%)

括弧内の数値は、ベースケースを基準とした曝露リスクの比率

(6) 4つの食中毒対策をすべて実施した場合

4.1 に示した 4 つの食中毒対策を全て実施した場合の、曝露リスクの分布に係る統計値を表 4-7 に示す。

冷却段階の塩素濃度管理および農場における感染予防対策は、いずれの曝露経路にも影響を及ぼすが、消費者教育の実施は、それぞれ不十分な加熱調理による曝露と生食による曝露にのみ影響を及ぼす。従って、4 つの食中毒対策を実施したとき、不十分な加熱調理による曝露と生食による曝露については 3 つの食中毒対策が講じられるが、交差汚染を通じた曝露については 2 つの食中毒対策しか講じられていないことになる。このため、交差汚染は、他の曝露経路に比べて、ベースケースからの曝露リスクの低減度合いは小さくなっている。

50%値に着目すると、農場における汚染率が75%に減少した場合、不十分な加熱調理および生食による曝露リスクはベースケースに比べて、16～17%にまで低減する。一方、交差汚染を通じた曝露リスクは34%まで低減する。

農場における汚染率が50%に減少した場合、不十分な加熱調理および生食による曝露リスクはベースケースに比べて、13～14%まで低減する。一方、交差汚染を通じた曝露リスクは28%まで低減する。

農場における汚染率が25%に減少した場合、不十分な加熱調理および生食による曝露リスクはベースケースに比べて、9～10%まで低減する。一方、交差汚染を通じた曝露リスクは19%まで低減する。

農場における汚染率が10%に減少した場合、不十分な加熱調理および生食による曝露リスクはベースケースに比べて、約5%まで低減する。一方、交差汚染を通じた曝露リスクは約10%まで低減する。

表 4-7 4つの食中毒対策をすべて実施した場合の曝露リスクの分布

農場汚染率	曝露経路	最小値	5%値	50%値	95%値	平均値	最大値
75%	不十分な加熱調理	6.31E-27 (21.6%)	1.40E-15 (17.1%)	1.75E-07 (16.9%)	1.93E-01 (17.3%)	2.82E+02 (43.6%)	2.52E+07 (65.5%)
	生食	4.89E-06 (9.1%)	9.12E-02 (19.6%)	7.76E+01 (15.8%)	1.01E+05 (11.8%)	2.93E+06 (18.6%)	2.32E+11 (36.5%)
	交差汚染	2.46E-06 (32.8%)	2.35E-02 (32.6%)	1.75E+01 (33.6%)	1.92E+04 (35.5%)	4.94E+05 (127.8%)	4.26E+10 (357.0%)
50%	不十分な加熱調理	3.97E-27 (13.6%)	1.16E-15 (14.2%)	1.47E-07 (14.1%)	1.59E-01 (14.2%)	2.28E+02 (35.3%)	2.04E+07 (53.0%)
	生食	4.18E-06 (7.7%)	7.60E-02 (16.4%)	6.47E+01 (13.2%)	8.54E+04 (10.0%)	2.37E+06 (15.0%)	1.86E+11 (29.2%)
	交差汚染	1.65E-06 (22.1%)	1.95E-02 (27.1%)	1.46E+01 (28.1%)	1.60E+04 (29.6%)	3.98E+05 (103.0%)	3.40E+10 (285.1%)
25%	不十分な加熱調理	1.87E-27 (6.4%)	7.86E-16 (9.6%)	9.99E-08 (9.6%)	1.09E-01 (9.8%)	1.33E+02 (20.6%)	1.17E+07 (30.3%)
	生食	2.82E-06 (5.2%)	5.10E-02 (11.0%)	4.43E+01 (9.0%)	5.91E+04 (6.9%)	1.59E+06 (10.1%)	1.21E+11 (19.1%)
	交差汚染	1.14E-06 (15.2%)	1.30E-02 (18.1%)	9.99E+00 (19.2%)	1.11E+04 (20.5%)	2.64E+05 (68.4%)	2.23E+10 (186.5%)
10%	不十分な加熱調理	8.26E-28 (2.8%)	3.91E-16 (4.8%)	5.08E-08 (4.9%)	5.56E-02 (5.0%)	4.12E+01 (6.4%)	3.31E+06 (8.6%)
	生食	1.64E-06 (3.0%)	2.56E-02 (5.5%)	2.24E+01 (4.6%)	3.07E+04 (3.6%)	8.39E+05 (5.3%)	6.42E+10 (10.1%)
	交差汚染	4.12E-07 (5.5%)	6.41E-03 (8.9%)	5.04E+00 (9.7%)	5.80E+03 (10.7%)	1.42E+05 (36.7%)	1.18E+10 (98.6%)

括弧内の数値は、ベースケースを基準とした曝露リスクの比率

(7) まとめ

ベースケースにおける各曝露経路での曝露リスク（50%値）と、これに対する各食中毒シナリオによる曝露リスクの比率を表 4-8 に示す。

まず、(1) で述べたとおり、ベースケースの曝露リスクは、生食と交差汚染は不十分な加熱調理に比べて圧倒的に大きい。従って、これらの曝露経路に対する有効な食中毒対策が求められる。

食鳥処理プロセスにおける冷却段階での塩素濃度管理は、この食中毒対策は全ての曝露経路に対して曝露リスクをベースケースの約 36% に低減させる効果を有するため、最も有効な食中毒対策であると考えられる。

農場における感染予防対策は、全ての曝露経路に対して曝露リスクを低減させることができるが、具体的にどのような対策を講じればどこまで鶏の感染率を下げるができるかは不明である。なお、冷却段階での塩素濃度管理と同等の効果を上げようとすれば、鶏の感染率を現行の 88.3% から 20% 程度にまで大幅に引き下げなければならない。

消費者教育による鶏肉の生食抑制（生食の最大頻度を月に 1 回程度から年に 1 回程度に抑制）は生食による大きな曝露リスクを約 47% 減少させる。しかし、消費者の嗜好や食文化を教育によって変えることは容易ではないため、有効な対策としていくためには、有効な消費者教育のあり方を検討し、中長期にわたり継続的に実施していくことが求められる。

消費者教育による加熱調理の徹底（不十分な加熱調理の割合を最小値、最確値、最大値とも現在の 1/2 に引き下げる）は、不十分な加熱調理による曝露を約 51% にまで低減させるが、鶏肉の生食抑制と同様に、有効な消費者教育のあり方の検討と、中長期にわたる継続の実施が求められる。また、もともとの曝露リスクも小さい。ただし、交差汚染による曝露リスクも、多くの曝露経路では消費者教育によって低減が可能であることから、鶏を生食しない消費者にとって消費者教育は有効な食中毒対策になり得る可能性がある。

表 4-8 食中毒対策による曝露リスクの低減（対ベースケース 50% 値）

食中毒対策シナリオ		不十分な加熱調理	生食	交差汚染
ベースケース		1.04E-06	4.90E+02	5.20E+01
冷却段階の塩素濃度管理		36.3%	35.6%	35.8%
農場における 感染予防対策 (右欄は鶏の汚染率)	75%	93.7%	93.8%	93.9%
	50%	78.4%	78.8%	78.3%
	25%	53.4%	54.1%	53.9%
	10%	26.9%	27.1%	26.8%
消費者教育の 実施	加熱調理徹底	50.8%	100.0%	100.0%
	生食抑制	100.0%	46.6%	100.0%
全ての食中毒 対策の実施 (右欄は鶏の汚染率)	75%	16.9%	15.8%	33.6%
	50%	14.1%	13.2%	28.1%
	25%	9.6%	9.0%	19.2%
	10%	4.9%	4.6%	9.7%

5. まとめと今後の課題

5.1 まとめ

本研究では、Health Canada の鶏肉のカンピロバクターに係るリスクアセスメントモデルをベースに、わが国の実態を反映したモデルを構築し、これを用いて、次の4つの食中毒対策シナリオについて、その有効性を定量的に検討した。

- ・食鳥処理プロセスにおける冷却段階での塩素濃度管理
- ・農場における感染予防対策
- ・消費者教育による鶏肉の生食抑制
- ・消費者教育による加熱調理の徹底

その結果、4つの食中毒対策シナリオの中では、食鳥処理プロセスにおける冷却段階での塩素濃度管理が有効な食中毒対策であることが分かった。ただし、他の食中毒対策については、具体的な対策方法やその効果について不明確な点が多く、依然として有効な食中毒対策になり得る可能性を有している。

また、本研究を通じて、鶏肉のカンピロバクターをはじめとする食品衛生管理において、定量的なリスクアセスメントが、構じるべきリスク管理措置を把握する上で非常に有効であることが分かった。

5.2 今後の課題

(1) データ・知見の収集・蓄積・整理

本研究では、Health Canada の鶏肉のカンピロバクターに係るリスクアセスメントモデルをもとにモデルを構築したが、Health Canada のモデル自体においても、モデル構築に必要な定量的なデータが不足していることが指摘されている。また、本研究で構築したモデルでは、食中毒対策シナリオ等を設定する上で、さまざまな仮定を設定している。このため、モデルに内在する不確実性はかなり大きいといえる。モデルの不確実性が大きいと、真の食中毒対策の有効性がモデルの不確実性の中に埋没し、正しい結論を導くことができず、リスク管理措置をミスリードするおそれすらある（モデルリスク）。

今後の有効な食中毒の検討に向けて、引き続き、関係する定量的なデータや知見を収集・蓄積・整理していく必要がある。

(2) 食中毒対策シナリオの明確化

本研究では4つの食中毒対策シナリオを検討したが、農場における感染予防対策や消費者教育のシナリオ設定にあたって具体的な方法やその効果が不明なこともあり、何らかの措置を講じることで一定の効果が発揮されることを仮定して分析を進めた。今後、食中毒対策の具体的な方法とこれによる効果を明確化し、より現実的な分析を可能にする必要がある。

別添 1

鶏肉における *Campylobacter jejuni* / *coli* 食中毒に関するリスクプロファイル
(平成16年度版)

分担研究者 山本茂貴

研究協力者 山崎 学

1. 問題となる病原微生物・媒介食品の組み合わせについて

● 対象病原微生物

Campylobacter jejuni / *coli*

● この病原微生物による感染症もしくは食品衛生上の問題（食中毒など）に関与する食品または加工食品についての概略

1 人事例は原因食品不明であるが、一部は、鶏肉であった。

2 人以上例で原因食品が判明したものは

焼き肉（焼き鳥）、とりわさ、白レバー、鳥刺し（推定）、とりたたき、さび焼きなど
ほとんどが鶏肉に関連しており、生もしくは加熱不十分なものが原因であった。

牛レバーからの感染も報告されている。（厚生労働省食中毒統計）

2. 公衆衛生上の問題点について

● 当該病原微生物の、公衆衛生上に大きな影響を及ぼしうる鍵となる特性（病原性、血清型、菌の増殖及び抑制条件、温度抵抗性、薬剤抵抗性）

Campylobacter 属菌の特徴

Campylobacter 属菌は幅 0.2-0.8 μ m、長さ 0.5-5 μ m で、1-数回螺旋しているグラム陰性菌で、5-15%酸素存在下でのみ発育可能な微好気性菌で、一端または両端に鞭毛を有する菌である。この菌は 31~46℃で発育し、それ以下では発育しない。

生残性：室温もしくはそれ以上では数日で死滅、4℃で10日~14日、-20℃で1ヶ月程度加熱致死：市販鶏肉 30g をグラム当たり 10 の 4 乗の菌数に調整、160℃で 240 秒加熱により完全死滅^{1, 2)}。

● 引き起こされる疾病の特徴：

○ 感受性人口（疾病に陥る可能性のある人々）

すべての日本人

○ 食中毒発生状況

	事件数	患者数
平成8年	65	1557
平成9年	257	2648

平成10年	553	2114
平成11年	493	1802
平成12年	469	1784
平成13年	428	1880
平成14年	447	2152

(厚生労働省食品安全部)

○ 原因施設 飲食店 20/22、不明 2/22

○ 人からの病原体検出情報 (図1)

(国立感染症研究所)

○ 病原微生物への暴露による臨床症状、致死率、重傷度、長期後遺症の正常と発生頻度

食品を摂食後1～7日(平均3日)で、下痢、腹痛、発熱、頭痛、全身倦怠感などの症状が認められる。ときに嘔吐や血便などもみられる。下痢は1日4～12回にもおよび、便性は水様性、泥状で膿、粘液、血液を混ずることも少なくない。

特定の血清型がギランバレー症候群と関係ありとされている。

ギランバレー症候群

ギラン・バレー症候群(Guillan-Barre Syndrome)は1919年にGuillanとBarreおよびStohlによって記載された急性突発性多発性根神経炎であり、神経根や末梢神経における炎症性脱髄疾患である。発症は急性に起き、多くは筋力が低下した下肢の弛緩性運動麻痺から始まる。典型的な例では下肢の方から麻痺が起こり、だんだんと上方に向かって麻痺がみられ、歩行困難となる。四肢の運動麻痺の他に呼吸筋麻痺、脳神経麻痺による顔面神経麻痺、複視、嚥下障害がみられる。運動麻痺の他に、一過性の高血圧や頻脈、不整脈、多汗、排尿障害などを伴うこともある。予後は良好で、数週間後に回復が始まり、機能も回復する。ただし、呼吸麻痺が進行して死亡することもある。ギラン・バレー症候群の15～20%が重症化し、致死率は2～3%であると言われている。ギラン・バレー症候群にはさまざまなサブタイプがあり、その一つにフィッシャー症候群がある。ギラン・バレー症候群は発症1～3週前に感冒様ないし胃腸炎症状があり、肝炎ウイルス、サイトメガロウイルス、EBウイルスなどのウイルスやマイコプラズマによる先行感染後が疑われていたし、これらの微生物による感染が証明された症例もある。カンピロバクターとギラン・バレー症候群との関わりはカンピロバクター腸炎の病原診断が一般化してきた1980年代になってからである。最初の症例は1982年に英国において45歳の男性がカンピロバクターによる下痢症状がみられてから15日後にギラン・バレー症候群を起こした。その後、英国や米国など諸外国で*Campylobacter jejuni*感染後に起きるギラン・バレー症候群が多数報告されてきた。米国の統計ではギラン・バレー症候群患者の10～30%がカンピロバクター既感染者であり、その数は425～1,275名と推定されている。

ギラン・バレー症候群患者からの分離菌株は Penner の血清群 O19 該当株が多いことから、ギラン・バレー症候群は O19 菌株感染に関連していると考えられたこともあったが、現在では O19 に限定されない。これまでに諸外国でギラン・バレー症候群患者から検出された *C. jejuni* の O 群は 1、2、4、5、10、16、23、37、44、64 である。ただし、わが国では O19 が多いことは事実である³⁾。

3. 農場での鶏群汚染状況

● リスクマネジメントに関与し、影響を与える生産段階での要因

カンピロバクターは、多くの健康な家畜、家きん、野生動物の腸管内に広く分布しており、この中でも鶏の保菌率は 20% から 100% に至る報告もあり、多くの動物における保菌率から比較すると非常に高い。また、腸管内容物の保菌量も高い。豚では、*C. coli* が、牛では *C. jejuni* が分離される。ハエ・ダニなどの衛生害虫や飼育者、飼育者の履き物、ドリンカーなどの器具、飲料水、周辺の川・井戸水、土壌から検出されており、高い汚染率を示した報告もある。総合的には、鶏が最も保菌率が高く、ヒトへの汚染源となりうる保菌動物である^{4,5)}。

○ 養鶏場での汚染実態調査

養鶏農場での分離には、著しい違いがある。分離率の相違は、検査日齢、採材時期（季節）、分離方法、分離技術、各農場の衛生状態に影響される。

○ 鶏からの病原体分離の季節変動

分離率は 5 月から上昇し、7-9 月頃が最も高い。検査日齢では、初生ヒナではほとんど検出されないものの、加齢により分離率は高くなり、十数週齢時に最高に達し、その後加齢に従い次第に低下する傾向も認められている⁶⁾。

○ 養鶏場での汚染機序

鶏卵の汚染率は低い、鶏卵からの菌分離報告では、卵ひゅおうめんお洗浄液から菌がぶ入りされたものの、0.9% にすぎず、コレラの鶏卵の表面には糞便が付着しており、2 次汚染の可能性が高い。また、種卵への侵入試験や、汚染主鶏から付加した鶏の追跡調査から、カンピロバクターの鶏への感染機序としては、垂直感染よりも水平感染と考えられる⁷⁾。

養鶏場での汚染実態報告から明らかなように、ブロイラー出荷時におけるカンピロバクターの汚染率は高く、大半が腸管に保菌し、糞便等による体表汚染があると考えられる。また、汚染の広がりには非常に迅速であり、農場への導入時には陰性だったヒナも、2 週間以降は容易に保菌し、以後急速に拡大していく⁴⁾。

○ ワクチンの効果

こうした養鶏場での拡大を防ぐために、ワクチンの応用、抗菌剤・生菌剤の使用等による排菌抑制、飼育環境の改善による汚染防止策が検討されている^{8,9)}。

カンピロバクターは、鶏の腸管内の常在菌であり、組織内に侵入しないため免疫応答によって排除することは非常に困難であると言われている¹⁰⁾。

○ 抗菌剤の使用

カンピロバクターの薬剤感受性試験から、感受性が認められたオキシテトラサイクリンの飼料添加による汚染防止効果¹¹⁾。

○ 感染の拡大

群ごと感染鶏数は農場により様々であるが、全く汚染のない農家からほぼ 100%汚染している農家まである。これらの差は鶏の飼養環境の感染率、感染菌数等が大きく影響している。

食鳥処理場への輸送に際して、糞便汚染により羽毛の汚染率及び汚染菌数が増加する。輸送ストレスによる糞便中の菌数、排便回数が増加することにより、感染が拡大する。輸送時の感染拡大を防止するため出荷前絶食処置(8～10 時間)が取られている。

その他、必要な定量データ

農家数

農家別飼養羽数

養鶏群数

4. 食鳥処理場

● リスクマネジメントに関与し、影響を与えうる食鳥処理場段階での要因

養鶏場で飼育された鶏は食鳥処理場に運ばれとさつ・解体される。処理場搬入時の鶏(生鳥)のカンピロバクターの汚染率は 30 数%から 100%であり、糞便汚染鶏は途中の工程においても汚染を拡大する¹²⁾。

○ 中抜き解体法と外むき解体法の比較

汚染率は外むき法の方が中抜き法に比べて低い傾向にある。中抜き法では機械による内臓摘出を行うため、腸管破裂し糞便汚染が拡大する^{13,14)}。

○ 処理工程ごとにおけると体のカンピロバクターの汚染

懸鳥、放血とさつ後、湯漬け工程において一旦菌は減少する。(熱湯の温度：55～60℃、カンピロバクターのD値 0.2～0.4 分以下であるが、鶏体表の本菌のD値は 0.5～2.2 分である¹⁵⁾。

その後、脱羽工程で汚染が拡大する。

1) 脱羽機の構造と汚染の状況

2) と体の冷却：冷却水に次亜塩素酸ナトリウムを添加

塩素濃度 100ppm が適正。通常、20～50ppm に調整している 15)。

○ 食鳥肉ササミの汚染状況

機械器具からの汚染をチェック可能

その他、必要な定量データ

年間処理羽数

月別処理羽数

5. カット工場

● リスクマネジメントに関与し、影響を与えうるカット工場での要因

もも肉、むね肉、手羽、ササミの汚染率は数%～100%である。

手袋、まな板からの2次汚染によると考えられる 16)。

塩素水による消毒効果についても検討あり 16)。

6. 食肉加工各工程

● リスクマネジメントに関与し、影響を与えうる食肉加工工程での要因

鶏肉の汚染率および汚染菌数の変動に関しては加熱温度時間が大きく関与する。

食肉中での菌の増減、加熱致死動態などの実験的データや加熱食肉製品製造業におけるデータが必要である。

7. 流通・販売

● リスクマネジメントに関与し、影響を与えうる流通・販売段階での要因

生鮮食鳥肉における汚染率はブロック肉同士の接触およびまな板・包丁などの調理器具や手指を介した2次汚染により増加する。また、菌数は温度と時間により変化する 5,16,17,18,19,21)。外むきと中抜き処理の差によって市販鶏肉の菌数が変化する 20)。

丸と体：10の2乗から10の5乗

部分肉 100グラム当たり 10の1乗から10の6乗

皮の有無、検査法、ふき取りかすすぎか（サンプリング）の相違によりデータが変化

その他必要な定量データ

販売量

8. 消費

● リスクマネジメントに関与し、影響を与えうる消費段階での要因

食肉加工工程と同じく調理による器具からの2次汚染や保存温度、調理温度と時間により菌数が変化する。

その他必要な定量データ

レストランや家庭における鶏肉消費量

年間1人当たり、1日1人当たりの消費量

調理方法

9. 発症菌数

海外での実験的感染報告あり²²⁾。

10. リスクアセスメントにおけるリスクマネージャーからリスクアセッサーへの質問事項及び解析を希望する事項

農場での感染防止

感染の拡大防止

食鳥処理場での汚染拡大防止

カット工場での汚染拡大防止

各段階での温度管理による菌数増加阻止

加熱調理

11. 既存のリスクアセスメント

- この病原体・媒介食品の組み合わせに対する、既存のリスクアセスメント

1. Risk assessment of *Campylobacter* spp. in broiler chickens.

<http://www.who.int/foodsafety/publications/micro/aug2002.pdf>

2. Aamir M. Fazil, et. al. A quantitative risk assessment model for *C. jejuni* in fresh poultry. 1999 (Canadian Food Safety Inspection Agency)

- この病原体の他のリスクアセスメント

U.S. Food and Drug Administration. *Draft Risk Assessment on the Human Health Impact of Fluoroquinolone Resistant Campylobacter Associated with the Consumption of Chicken*. 2000. (Revised Jan. 5, 2001.) http://www.fda.gov/cvm/Risk_asses.htm

12. 文献

1. 大畑克彦, 山崎史恵, 佐原啓二, 大村正美, 増田高志, 堀 渉, 内藤 満, 赤羽荘資, 花村悦男, 山口人志, 森田剛史, 木村隆彦, 山口俊英, 興津 馨, 勝又國久, 久嶋 弘, 幾島隆雄, 長谷川進彦, 早川敦子, 大成幸男, 服部道明, 岡村芳静, 宮下 弘、バーベキュー料理に起因するカンピロバクター食中毒の予防に関する研究. 静岡県衛生環境センター報告. 36. 1-6. 1993.
2. 斉藤志保子, 山脇徳美, 和田恵理子, 森田盛大. 検食における *Campylobacter jejuni* の生存性・増殖性と検食の保管管理方法に関する調査研究 (第1報). 秋田県衛生科学研究所報. 34. 73-75. 1990.

3. IASR Vol.20 No.5 May 1999.
4. Berndtson, E. *Campylobacter* incidence on a chicken farm and the spread of *Campylobacter* during the slaughter process. *Int. J. Food. Microbiol.* 32: 35-47, 1996.
5. Ono, K. Contamination of meat with *Campylobacter jejuni* in Saitama, Japan. *Int. J. Food Microbiol.* 47: 211-219, 1999.
6. Jacobs-Reitsma, W.F. Cecal carriage of *Campylobacter* and *Salmonella* in Dutch broiler flocks at slaughter: a one-year study. *Poult. Sci.* 73:1260-1266, 1994.
7. Doyle, M.P. Association of *Campylobacter jejuni* with laying hens and eggs. *Appl. Environ. Microbiol.* 47: 533-536, 1984.
8. Rice, B.E. *Campylobacter jejuni* in broiler chickens: colonization and humoral immunity following oral vaccination and experimental infection. *Vaccine* 15: 1922-1932, 1997.
9. Noor, S. M., In ovo oral vaccination with *Campylobacter jejuni* establishes early development of intestinal immunity in chickens. *British Poultry Science* 36: 563-573, 1995.
10. Widders, P.R. Immunization of chickens to reduce intestinal colonization with *Campylobacter jejuni*. *British Poultry Science* 37: 765-778, 1996.
11. 向原要一 カンピロバクター実験感染鶏に対するオリゴ糖、生菌剤の飼料添加の効果 鶏病研報 28: 203-205, 1993.
12. Stern, N.J., *Campylobacter* spp. in broilers on the farm and transport. *Poultry Science* 74: 937-941, 1995.
13. 石井宮次 鶏肉の *Campylobacter jejuni* 汚染と食鳥処理工程の改善 食品と微生物 6: 69-79, 1989.
14. 石井宮次 鶏肉の *Campylobacter jejuni* 汚染と食鳥処理工程の改善 食品と微生物 6: 129-134, 1989.
15. Yang, H. Survival and Death of *Salmonella Typhimurium* and *Campylobacter jejuni* in processing water and on chicken skin during poultry scalding and chilling. *J. Food Protect.* 64: 770-776, 2001.
16. 八嶋 務、食鳥肉のカンピロバクター汚染と防止方法 食品と微生物 3: 109-114, 1986.
17. 伊藤 武、市販食肉及び食肉店舗や食鳥処理場の環境における *Campylobacter* の汚染状況ならびに分離菌株の血清型別に関する研究 感染症誌 62: 17-24, 1988.
18. Tokumaru, M. Rates of detection of *Salmonella* and *Campylobacter* in meats in response to the sample size and the infection level of each species. *Int. J. Food Microbiol.* 13: 41-46, 1991.

19. 細田康彦、ニワトリ肉及び内臓の *Campylobacter* 汚染について 食品と微生物 1: 126-129, 1984.
20. 品川邦汎、食鳥処理場および小売店から採取した食鳥肉の微生物汚染 食品衛生研究 36: 71-90, 1986.
21. 八嶋 務、食鳥肉のカンピロバクター汚染と防止法 食品衛生研究 37: 31-41, 1987.
22. Black, R.E., Levine, M.M., Clements, M.L., Hughes, T.P., and Blaser, M. 1988. Experimental *Campylobacter jejuni* infection in humans. *J. Infect. Dis.* 157, 472-479.

平成18年度厚生労働科学研究費
食品の安心・安全確保推進研究事業

研究課題：細菌性食中毒の予防に関する研究

分担研究課題：鶏肉におけるカンピロバクター食中毒の予防に関する研究

研究協力課題：ブロイラー農場でのカンピロバクター汚染実態

分担研究者 山本茂貴 国立医薬品食品衛生研究所

研究協力者 中馬猛久 鹿児島大学

研究要旨

鹿児島県下の食鳥処理場に搬入されたブロイラーの盲腸内容物をプレストンブロス、バツラー寒天培地でそれぞれ42℃48時間増菌選択培養し、常法に従い同定を行い、菌株を収集した。2003年度から2006年度の調査の合計で184農場中84農場（45.7%）がカンピロバクター陽性であった。2006年度のみでは陽性率70%と高率であった。個体ごとでは2003から2006年度の合計で2943羽中386羽（13.1%）が陽性であった。

本調査ではカンピロバクター分離率、ナリジクス酸に対する耐性率の両者ともに高い値を維持しており、今後もモニターを続け、菌の流行や耐性獲得に関わる因子を解析していく必要がある。

A. 研究目的

定量的リスクアセスメントに必要なデータを得るため、生産段階でのブロイラーにおけるカンピロバクター汚染率を調査した。

B. 研究方法

鹿児島県下のブロイラー飼育農場から食鳥処理場に搬入されたブロイラーの盲腸内容物をプレストンブロス、バツラー寒天培地でそれぞれ42℃48時間増菌選択培養し、常法に従い同定を行い、菌株を収集した。2週ごとに2農場2鶏群ずつ（1鶏群16羽）調査した。ナリジクス酸感受性はディスク法（30μg）で調べた。また、12農場19鶏群における出荷1週間前のブロイラーから総排泄腔スワブ（1鶏群あた

り10または12サンプル）を得て、同様な調査を実施した。

C. 研究成果

盲腸内容物からのカンピロバクター分離頻度を表1に示した。2003年度から2006年度の調査の合計で184農場中84農場（45.7%）がカンピロバクター陽性であった。2006年度のみでは陽性率70%と高率であった。個体ごとでは2003から2006年度の合計で2943羽中386羽（13.1%）が陽性であった。分離された菌株のナリジクス酸耐性状況を表2に示した。2003年度から2006年度の合計で386株中152株（3

9.4%) がナリジクス酸に耐性を示した。2006年度ではカンピロバクター・コリの分離株がカンピロバクター・ジェジュニの分離株数より少なかったにもかかわらず、ナリジクス酸に対する耐性率はコリが64.5% (76株中49株)、ジェジュニが29.8% (131株中39株) とコリの方が高い耐性率を示した。

出荷1週間前のブロイラー総排泄腔スワブにおけるカンピロバクターの分離率は表3に示すように77.0% (196検体中151検体) であった。ナリジクス酸耐性株は151株中38株 (25.2%) であった。19農場中17農場から菌が分離され、分離された株がすべて耐性であった農場が3農場、すべて感受性であった農場が10農場、両者が分離された農場が4農場であった。

D. 考察

本調査では無作為に農場を選び材料の収集を実施しているが、年度ごとにそれぞれの陽性率ばらつきが生じた。年度ごとに大きな衛生管理方法の転換は実施されておらず、これらの値のばらつきが何らかの因子によるものなのかどうかは言及しがたい。疫学的解析にはさらに多数のサンプル確保が必要かもしれない。2006年度までの4年間では約半数の農場由来の盲腸内容からカンピロバクターが分離され、個体別では約13%の分離率であった。一方、農場に赴き総排泄腔スワブを採取し培養すると19農場中17農場がカンピロバクター陽性という結果になり、個体別でも77%と

高率になった。このことから、調査材料の収集方法によっても菌の分離率が大きく影響されるものと考えられる。

E. 結論

ブロイラー農場におけるカンピロバクターの流行要因には不明な点が多く、解析には適切な方法と十分なサンプル数が必要であろう。本調査ではカンピロバクター分離率、ナリジクス酸に対する耐性率の両者ともに高い値を維持しており、今後もモニターを続け、菌の流行や耐性獲得に関わる因子を解析していく必要がある。

表1、ブロイラーからのカンピロバクター分離頻度

年度	陽性／鶏群 (%)	陽性／羽数 (%)	<i>C. jejuni</i> (%)	<i>C. coli</i> (%)
03	26／45 (57.8)	81／719 (11.3)	48 (6.7)	33 (4.6)
04	15／47 (32.0)	62／752 (8.2)	41 (5.5)	21 (2.8)
05	9／44 (20.5)	36／704 (5.1)	26 (3.7)	10 (1.4)
06	34／48 (71.0)	207／768 (27.0)	131 (17.1)	76 (9.8)
計	84／184 (45.7)	386／2943 (13.1)	246 (8.4)	140 (4.8)

表2、ブロイラーから分離されたカンピロバクターのナリジクス酸耐性

年度	耐性株数／分離株数 (%)	耐性／ <i>C. jejuni</i> (%)	耐性／ <i>C. coli</i> (%)
03	31／81 (38.3)	20／48 (41.7)	11／33 (33.3)
04	27／62 (43.5)	17／41 (43.5)	10／21 (47.6)
05	6／36 (16.7)	6／26 (23.1)	0／10 (0)
06	88／207 (42.5)	39／131 (29.8)	49／76 (64.5)
計	152／386 (39.4)	82／246 (33.3)	70／140 (50.0)

表3、出荷1週間前のブロイラーからのカンピロバクター
分離状況とナリジクス酸感受性

農場一鶏群	サンプル数	陽性数	NA感受性数	NA耐性数
A1	12	11	11	0
A2	12	10	10	0
A3	12	9	9	0
B1	12	0	0	0
B2	12	0	0	0
C1	12	12	0	12
C2	12	9	0	9
D1	12	11	11	0
D2	12	10	10	0
E1	10	7	7	0
F1	10	3	3	0
G1	10	10	10	0
H1	10	10	10	0
I1	10	9	0	9
J1	10	7	6	1
J2	10	9	8	1
K1	10	7	7	0
K2	10	8	3	5
L1	10	9	8	1
計	196	151	113	38