

平成 19 年度 食品健康影響評価技術研究
食品に関連するリスクの定量的評価法に関する研究領域
「定量的リスク評価に応用可能な手法の探索、分析及び開発に関する研究」

分担研究報告書

分担研究：確率論的モデル構築

カンピロバクターによる生鶏肉の食中毒の定量的リスクアセスメントモデルの開発

分担研究者 長谷川 専 株式会社三菱総合研究所社会システム研究本部

研究協力者 春日文子、松下知己、山本昭夫、鈴木穂高、筒井俊之、山本健久、澤田美樹子、本山恵子、岩堀淳一郎、花岡頼子、浜崎利之

要旨

本分担研究は、カンピロバクター・ジェジュニ/コリによる生鶏肉の食中毒リスクを対象に、食品安全委員会微生物・ウイルス合同専門調査会において示された食中毒対策の有効性を評価する Farm-To-Folk の確率論的モデルを構築することを目的とした。特に、食鳥処理場の区分、すなわち汚染農場と非汚染農場の鶏を分離処理することで交差汚染の回避を図る食中毒対策を主たる分析対象とした。このほか分析対象とした食中毒対策は、農場での管理および調理（鶏肉の食べ方、不適切な調理方法）である。

確率論的モデルを構築し、シミュレーションによって分析を行った結果、以下の点が明らかになった。食中毒リスクの低減に最も有効な食中毒対策は、食鳥処理場の区分であり、次いで、教育等による不十分な加熱調理の割合を低減させる措置が有効である。農場での管理による農場汚染率の低減措置は食鳥処理場における交差汚染によって効果の一部が相殺されるため有効性は低い。ただし、農場での管理は食鳥処理場の区分と複合的に講じられれば、最も有効な対策になる。すなわち、農場での管理は、食鳥処理場の区分とともに複合的に講じられてはじめてその効果を十分に発揮し得る食中毒対策である。

－ 目 次 －

要旨

1. 分担研究の目的
2. 本年度の研究結果
 2. 1 モデルの基本的考え方
 - (1) 食鳥処理場のモデル
 - (2) 暴露経路
 - (3) Dose-Response
 - (4) 着目する指標
 - (5) モデルの全体構造
 - 1) リスク評価モデル
 - 2) 想定される食中毒対策のシナリオ
 2. 2 モデルの概要
 - (1) リスク評価モデル
 - 1) 農場段階
 - 2) 輸送段階
 - 3) 食鳥処理段階
 - 4) 流通・小売段階
 - 5) 調理・喫食段階
 - 6) 発症リスク
 - 7) リスク評価モデルの概要
 - (2) カンピロバクターによる食中毒対策シナリオ
 - 1) 農場での管理
 - 2) 食鳥処理場の区分
 - 3) 調理
 - ①加熱調理の徹底
 - ②交差汚染の防止
 2. 3 確率論的モデルの構築
 - (1) リスク評価モデル
 - 1) 農場段階
 - 2) 流通・小売段階
 - 3) 食鳥処理段階
 - 4) 調理・喫食段階
 - ①喫食暴露
 - (i) 生食による暴露確率
 - (ii) 不十分加熱調理の頻度
 - (iii) 喫食暴露確率
 - ②交差汚染暴露
 - (i) 調理器具を介した交差汚染
 - ア) 鶏肉から調理器具への交差汚染率
 - イ) 調理器具洗浄習慣による菌の生残率
 - ウ) 調理器具洗浄方法による菌の生残率
 - エ) 調理器具から RTE 食品への交差汚染率
 - オ) 調理器具を介した交差汚染率
 - (ii) 手指を介した交差汚染
 - ア) 鶏肉から手指への交差汚染率
 - イ) 手洗い習慣による菌の生残率

ウ) 手洗い洗浄方法による菌の生残率

エ) 手指から RTE 食品への交差汚染率

オ) 手指を介した交差汚染率

(iii) 交差汚染で移行する菌数

(iv) 交差汚染暴露

5) リスク評価モデル

2. 4 分析結果

(1) リスク評価

1) 年間発症者数

① 年間発症者数の分布

② 感度分布

2) 喫食暴露リスク

① 喫食暴露リスクの分布

② 感度分布

3) 生食暴露リスク

4) 加熱不十分鶏肉喫食暴露リスク

① 加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクの分布

② 感度分布

5) 交差汚染暴露リスク

① 交差汚染暴露リスクの分布

② 感度分布

6) まとめ

(2) 食中毒リスク対策の効果

1) 食中毒リスク対策の効果の把握の考え方と方法

2) 食中毒リスク対策の効果

① 食鳥処理区分を行わず食鳥処理場で交差汚染がある場合

② 食鳥処理区分を行い食鳥処理場で交差汚染がない場合

2. 5 考察

3. 今後の課題

(1) 汚染濃度と Dose-Response

(2) 免疫機構

(3) 交差汚染暴露リスク

(4) 汚染農場と非汚染農場の区分

参考資料

参考文献

1. 分担研究の目的

食品安全委員会において、食品安全委員会が自らの判断で実施する食品健康影響評価に係る検討によって4つの微生物が優先的にリスク評価を実施することとされた。微生物・ウイルス合同専門調査会（以下、専門調査会）での検討により、そのうち、鶏肉を主とする畜産物中のカンピロバクター・ジェジュニ/コリ（以下、カンピロバクター）については具体的なリスク評価の検討に入ることが可能と判断された。そこでは、農場での管理（農場汚染率の低減）、食鳥処理場の区分（汚染農場と非汚染農場の鶏を分離処理（処理ラインまたは処理時間の分離）による交差汚染の回避）、調理（不完全加熱鶏肉の喫食および鶏肉の生食の削減、鶏肉調理時の二次汚染の削減）を中心に、汚染率の減少を指標として想定される対策を講じた場合の効果を推定するという方向性が示された。

本分担研究は、上記の食品安全委員会における検討結果を踏まえ、生鶏肉のカンピロバクターによる食中毒リスクを対象として、汚染率の変化を中心とした Farm-To-Folk の確率論的モデルを構築し、上記の食中毒対策の効果を評価することを目的とした。

2. 本年度の研究結果

モデル全体の枠組みは春日のアイディアに基づいて、春日、長谷川、松下が検討し、班会議での議論を踏まえて構築した。鶏肉関係データ収集・整理は澤田、本山が実施した。小売店における鶏肉の汚染率データの網羅的な文献検索・整理は鈴木と松下が分担して実施した。また、本分担研究のモデルの中核をなす、食鳥処理場において汚染農場と非汚染農場の鶏を分離処理することで交差汚染の回避を図る食中毒対策の現実性については、春日、長谷川、松下が視察・ヒアリングを実施し、研究会議で検討した。その結果、食鳥処理において、非汚染農場の鶏を処理した後に汚染農場の鶏を処理するといった処理時間の分離には一定の現実性があるとの結論に至った。家庭での調理における交差汚染については、山本昭夫が既往研究のレビューを行い、これに基づいて新たなモデルを提案した。

本分担研究では、班会議での議論を踏まえて、上記の研究班メンバーの検討結果を統合し、確率論的モデルの構築と分析を行った。

2. 1 モデルの基本的考え方

(1) 食鳥処理場のモデル化

本分担研究では、食鳥処理場の区分（食鳥処理場において汚染農場と非汚染農場の鶏を分離処理することで交差汚染の回避を図る）に係る食中毒対策の効果を評価し得る確率論的モデルを構築し分析することを主たる目的とした。かかるリスク評価のためには、基本ケースでは、食鳥処理場において一定の交差汚染率で交差汚染が発生し、当該管理措置を講じたケースでは、食鳥処理場において交差汚染が発生しないと想定すればよい。

従って、食鳥処理場は単に非汚染鶏への交差汚染のみが発生するプロセスとして取り扱えば十分であり、CFIA/USDA(1999)¹でモデル化されているような食鳥処理場内の詳細な処理工程や個々の処理工程による鶏肉の汚染状況等への影響は捨象して差し支えない。

本分担研究では、上記の考え方にに基づき、食鳥処理場を非汚染鶏への交差汚染のみが発生するプロセスとしてモデル化した。すなわち、食鳥処理場のプロセスは、鶏の感染率のみを入力し、鶏肉の汚染率のみをアウトプットとして返すようモデル化した。

【食鳥処理場の区分の現実性について】

専門調査会においては食鳥処理場の区分（汚染農場と非汚染農場の鶏を分離処理）に係る食中毒対策としては、汚染農場と非汚染農場の鶏を異なる処理ラインで処理する方法（処理ラインの分離）と、非汚染農場の鶏を処理した後に汚染農場の鶏を処理する方法（処理時間の分離）の2つが示された。ここでは、かかる食中毒対策の現実性について検討した。

検討に先立ち、食鳥処理の実態を把握するために、大手鶏肉製造・加工・販売事業者にヒアリング調査を行うとともに、（社）日本食鳥協会のご協力を得て、実際の食鳥処理場への視察・ヒアリング調査を実施した。その結果を以下に示す。

処理ラインの分離

食鳥処理場において、汚染農場と非汚染農場からの鶏を異なるラインで処理することができれば食鳥処理場における交差汚染を回避することができる。また、汚染農場と非汚染農場とで、鶏を出荷し処理する食鳥処理場を分けることによっても食鳥処理場における交差汚染を回避することができる。

各農場と出荷先の食鳥処理場は紐付けられている。しかも食鳥処理場は大規模なものであっても1ラインしかない場合が多い。このため、ある食鳥処理場に汚染農場と非汚染農場が紐付けられていれば、処理ラインは1ラインしかないため、汚染農場・非汚染農場の別に処理ラインを分離することは困難となる。

また、農場からの出荷先として紐付けられている食鳥処理場は、農場と近接していることが多い。農場内に食鳥処理場が設置されているものもある。これは鶏が輸送に弱いことであるⁱⁱ。このため、汚染農場・非汚染農場の別にそれぞれ異なる食鳥処理場で鶏を処理することで処理ラインを分離することも困難である。

従って、食鳥処理場の区分という食中毒対策を処理ラインの分離によって講じることは困難であると考えられる。

処理時間の分離

食鳥処理場においては、鶏の処理は農場単位で行われる。そして、毎日、所要の農場の鶏を処理した後、処理施設の機械類を分解洗浄する。従って、例えば、午前中に非汚染農場からの鶏を、午後に汚染農場からの鶏を処理すれば、交差汚染を回避することができる。

食鳥処理場において処理を行う農場の順番はビジネス上の理由によって決定される。このため、汚染農場からの鶏を処理した後に、非汚染農場からの鶏を処理することは、実際上は困難である。ただし、理論上は処理時間の分離は可能である。現に通常の鶏とブラン

ⁱ ある食鳥処理場では、通常の食鳥処理に加えて、特定顧客の規格に合わせて食鳥処理を行うために、大ビナ用、中ビナ用の2ラインを有している。しかし、脱羽から中抜きまでは共通ラインで処理している。

ⁱⁱ ある食鳥処理場では農場から食鳥処理場までの輸送時間は最長1時間半となっている。

ド鶏は処理時間を分離して処理されている。

従って、食鳥処理場の区分という食中毒対策を処理時間の分離によって講じることは理論的に可能であると考えられる。

検討会での議論

上記の調査結果に基づいて、班会議で議論した結果、処理ラインの分離は現実的ではないが、処理時間の分離には一定の現実性があるとの結論に至った。

ただし、非汚染農場と汚染農場をどのように認定し区分するのかという点は実務的な課題として残された。

(2) 暴露経路

本分担研究では、CFIA/USDA(1999)¹で想定されている暴露経路を参考に、家庭における調理・喫食を対象として表 2.1 に示す2つのカンピロバクターへの暴露経路を想定した。

表 2.1 本分担研究において想定する暴露経路

暴露経路	概要
喫食暴露	不十分な加熱調理による汚染鶏肉を喫食、あるいは汚染鶏肉を生食することで、鶏肉中に生残するカンピロバクターに暴露する経路。
交差汚染暴露	汚染鶏肉に付着していたカンピロバクターが調理過程において調理器具や手指を介して RTE (Ready-To-Eat) 食品 ⁱⁱⁱ に移行し(交差汚染)、当該 RTE 食品の喫食を通じてカンピロバクターに暴露する経路。

(3) Dose-Response

カンピロバクターについては Dose-Response の推定は困難であるが、発症菌数が少なく、少数でも摂取すれば発症する。そこで、本分担研究では、喫食時の鶏肉等の食品におけるカンピロバクター濃度の多寡によらず、1個のカンピロバクターを摂取するだけでも発症するものとして Dose-Response を取り扱う。

(4) 着目する指標

(3)に示した Dose-Response の取扱いにより、カンピロバクターによる食中毒リスクは、喫食する鶏肉等の汚染率で評価することができる。しかも、食鳥処理場を(1)で述べたようにモデル化すれば、モデル全体でも鶏の感染率および鶏肉の汚染率に着目するだけで十分である。

そこで、本分担研究では、Farm to Folk のフードチェーン全体にわたって、鶏の感染率および鶏肉の汚染率の変化に着目してモデルを構築した。また、モデルを簡便にするため、モデルにおいては、計算上の取扱単位を鶏の数(羽)単位で行うものとした。これらの点は本分担研究において構築したモデルの大きな特徴である。

ⁱⁱⁱ 魚介類加工品や生食用野菜など、加熱されることなく直接喫食される食品。

(5) モデルの全体構造

1) リスク評価モデル

本分担研究で構築したリスク評価モデルの全体構造は図 2.1 のとおりである。そこでの各段階の概要は表 2.2 に示すとおりである。

表 2.2 リスク評価モデルにおける各段階の概要

段階	モデルの概要
農場段階	農場から鶏が食鳥処理場に輸送される。汚染農場では <u>一定の感染率</u> でカンピロバクターに感染した感染鶏が含まれる。
食鳥処理段階	鶏を出荷する農場の汚染/非汚染を <u>区別せずに鶏を食鳥処理</u> することで交差汚染が発生し、食鳥処理後の鶏肉汚染率は食鳥処理前の鶏の汚染率よりも増大する。
流通・小売段階	国内で食鳥処理された鶏肉と海外からの輸入鶏肉が均一に混じって流通する。なお、海外からの輸入鶏肉も一定の汚染率でカンピロバクターに汚染された汚染鶏肉が含まれる。
調理・喫食段階 (暴露)	流通段階を経て家庭に持ち込まれた汚染鶏肉によって、消費者は、 (i) <u>不十分に加熱調理された鶏肉料理あるいは生鶏肉(生食)</u> を喫食すること、 (ii) <u>汚染鶏肉から交差汚染された RTE 食品</u> を喫食すること、 の2経路からカンピロバクターに暴露される。
発症段階	カンピロバクターに暴露された消費者は食中毒を発症する。

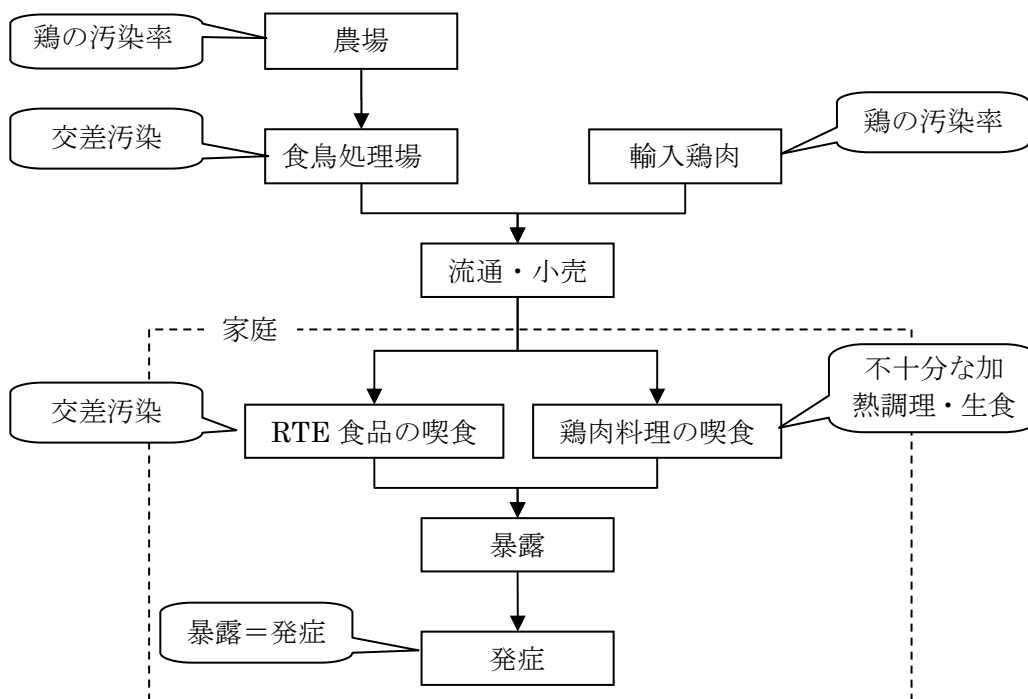


図 2.1 モデルの全体構造

2) 想定される食中毒対策のシナリオ

リスク低減のために、現実的に対応が可能と考えられる食中毒対策として、表 2.2 の下線部に着目し、以下の観点からリスク低減効果の推定、比較を行う。なお、ここでは、食中毒対策単独の効果だけでなく、これらを組み合わせた場合の効果の推定、比較についても実施する。

表 2.3 想定される食中毒対策

食中毒対策	シナリオ
農場での管理	農場における衛生管理を見直すことで、汚染農場の割合の低減を図る。
食鳥処理場の区分	食鳥処理場において、汚染農場から出荷された鶏と非汚染農場から出荷された鶏を区分して処理することで、食鳥処理場における交差汚染の防止を図る。
調理	消費者の意識啓発・教育等により、家庭における調理・喫食方法の改善を図ることで、不十分な加熱調理、生食、RTE 食品の交差汚染の低減を図る。

2. 2 モデルの概要

ここでは、本分担研究において構築したモデルの具体的な構造について、その前提や仮定とともに決定論的モデルとして示す。なお、確率論的モデルの構築については、2. 3 において示す。

(1) リスク評価モデル

1) 農場段階

農林水産省「平成 18 年度動物由来感染症調査成績」²では、養鶏農場の肉用鶏を対象とした平成 18 年度（通年）における農場ベース、羽ベースのカンピロバクターの分離状況が報告されている（参考資料 1）。

このうち、育成鶏のカンピロバクター（ジェジュニまたはコリ）について着目すると、農場および鶏のカンピロバクターの分離状況は表 2.4 に示すとおり整理される。

表 2.4 農場段階でのカンピロバクター汚染・感染率（育成鶏）

	検査数	分離数	
農場ベース	331 農場	130 農場	
羽ベース	3,683 羽	<i>C.jejuni</i>	738 羽
		<i>C.coli</i>	114 羽
		合計	852 羽

資料：農林水産省「平成 18 年度動物由来感染症調査成績」

ただし、このデータでは農場別の検査鶏数と分離数は示されていないため、個別の農場における鶏のカンピロバクターへの感染率が把握出来ない。そこで、以下の仮定を設定する。

・汚染農場における鶏の感染率は等しい。

この仮定に従えば、汚染農場(contaminated farm)における鶏の感染率 p_{cf} は以下のとおり算出される。

- ・ 一農場あたりの検査羽数 = $3683/331 = \text{約 } 11 \text{ 羽}$
- ・ 汚染農場における検査羽数 = $3683/331 \times 130 = \text{約 } 1,446 \text{ 羽}$
- ・ 汚染農場の鶏の感染率 $p_{cf} = 852 \div 1446 = \text{約 } 58.9\%$

また、農場汚染率 $r = 130/331 = 39.3\%$

【留意点】

農林水産省「平成 18 年度動物由来感染症調査成績」は、試験的に行われた調査であり、比較的衛生状態が良好な農場を対象にしている可能性がある。このため、農場汚染率や汚染農場における鶏の感染率は過小評価されている可能性がある。実際に、専門家の意見によれば、農場汚染率および汚染農場における鶏の感染率はいずれも約 9 割といわれている。

このため、このようなバイアスの可能性のある農場段階での鶏の感染率データと小売段階における鶏肉の汚染率データに基づいて食鳥処理場における交差汚染率を推計すると、交差汚染率が過大評価される可能性がある。さらに、本研究では、汚染農場と非汚染農場から出荷される鶏を分けて食鳥処理を行う食中毒対策のリスクアセスメントを実施する。ここでは食鳥処理段階で非汚染農場から出荷される鶏への交差汚染が回避される効果が推定される。その推定過程で、このように過大評価された交差汚染率を用いると、食中毒対策の効果が過大評価される可能性がある。

また、このデータでは農場別の検査鶏（サンプル）の母集団である農場別年間出荷鶏数は示されていない。そこで、以下の仮定を設定する。

- ・ 汚染農場であるか非汚染農場であるかを問わず、一農場あたりの出荷鶏数は等しい。

この仮定に従えば、国内(domestic)の年間出荷鶏数 N_{dom} （羽/年）は、農林水産省「平成 18 年食鳥流通統計調査」³からデータが得られるため、農場段階での鶏の感染率 p_f は以下のとおり算出される。

- ・ 汚染農場からの年間出荷鶏数（羽/年） $N_{cf} = N_{dom} \cdot r$
- ・ 汚染農場からの感染鶏の年間出荷数（羽/年） $= p_{cf} N_{cf}$
- ・ 農場段階での鶏の感染率 $p_f = \frac{p_{cf} N_{cf}}{N_{dom}} = r \cdot p_{cf}$

2) 輸送段階

鶏の輸送中に起きるカンピロバクターの増殖や交差汚染の状況については把握できないため、以下の仮定を設定する。

- ・輸送段階での増殖や交差汚染はない。

この仮定に従えば、食鳥処理場に入る鶏の感染率は、農場段階での鶏の感染率に等しくなる。

3) 食鳥処理段階

食鳥処理場において、鶏は、湯漬、脱羽、中抜き、洗浄、冷却などの工程を経て処理されるが、2. 1 (1) で述べたとおり、ここでは個々の工程における交差汚染の状況を詳細にモデル化するのではなく、これらの食鳥処理工程を一つの工程としてとらえ、そこでの交差汚染をモデル化することとした。なお、個々の食鳥処理場における交差汚染に関するデータは得られないため、食鳥処理段階での交差汚染については、食鳥処理場に入る鶏の感染率 (= 農場段階での鶏の感染率) と、市中に流通する鶏肉の汚染率から推定することとし、以下の仮定を設定する。これは、全国の農場から出荷された鶏があたかも一つの食鳥処理場で処理されるかのような状況を想定していることを意味する。

- ・個々の食鳥処理場における交差汚染率は等しい。
- ・食鳥処理においては、汚染鶏肉は滅菌されない（濃度の減少はあっても完全にゼロになることはない = 汚染鶏肉数は減少しない）^{iv}。

なお、交差汚染率は次式のように定義する。

【定義】

ある工程において非汚染鶏肉が汚染され汚染鶏肉になる割合

$$\text{交差汚染率} = \frac{\text{工程過程で増えた汚染鶏肉数}}{\text{工程前の非汚染鶏肉数}} = \frac{\text{工程後の汚染鶏肉数} - \text{工程前の汚染鶏肉数}}{\text{工程前の非汚染鶏肉数}}$$

2) の輸送段階で設定された仮定から、食鳥処理前 (before process) の鶏の感染率 p_{bp} は、農場段階での鶏の感染率に等しい。すなわち、 $p_{bp} = p_f$ である。また、食鳥処理後 (after process) の鶏肉の汚染率 p_{ap} は、食鳥処理段階での交差汚染により、 $p_{ap} \geq p_{bp}$ となる。

ここで、食鳥処理段階での交差汚染 (cross-contamination) は、汚染農場からの感染鶏の鶏肉が、(i) 非汚染農場からの非感染鶏の鶏肉を汚染する、(ii) 汚染農場から非感染鶏の非汚染鶏肉を汚染するという2つが挙げられる (図 2.2)。上記の交差汚染率の定義式に従えば、定義式中の「工程前の非汚染鶏肉数」は、非汚染農場からの非汚染鶏肉数 (すなわち、非汚染農場からの非感染鶏数 N_{ncf}) と汚染農場からの非汚染鶏肉数 (すなわち、汚染農場か

^{iv} CFIA/USDA(1999)のリスク評価モデルにおいても、食鳥処理場の各工程において鶏肉の汚染率が低減することはないと仮定されている。

らの感染鶏数 $(1 - p_{cf})N_{cf}$) の和である。「工程過程で増えた汚染鶏肉数」は、工程後の汚染鶏肉数から工程前の汚染鶏肉数を差し引いたものとなる。「工程後の汚染鶏肉数」は、国内年間出荷鶏数 N_{dom} に食鳥処理後の鶏肉の汚染率 p_{ap} を乗じた $p_{ap}N_{dom}$ である。「工程前の汚染鶏肉数」は、汚染農場からの感染鶏数 $P_{cf}N_{cf}$ である。よって、食鳥処理段階での交差汚染率 p_{pcc} は次式で定式化される。

$$p_{pcc} = \frac{p_{ap}N_{dom} - P_{cf}N_{cf}}{N_{ncf} + (1 - p_{cf})N_{cf}}$$

なお、ここでの p_{ap} は未知数であり、4) において市中に流通する鶏肉の汚染率に基づき、交差汚染率 p_{pcc} とともに推定する。

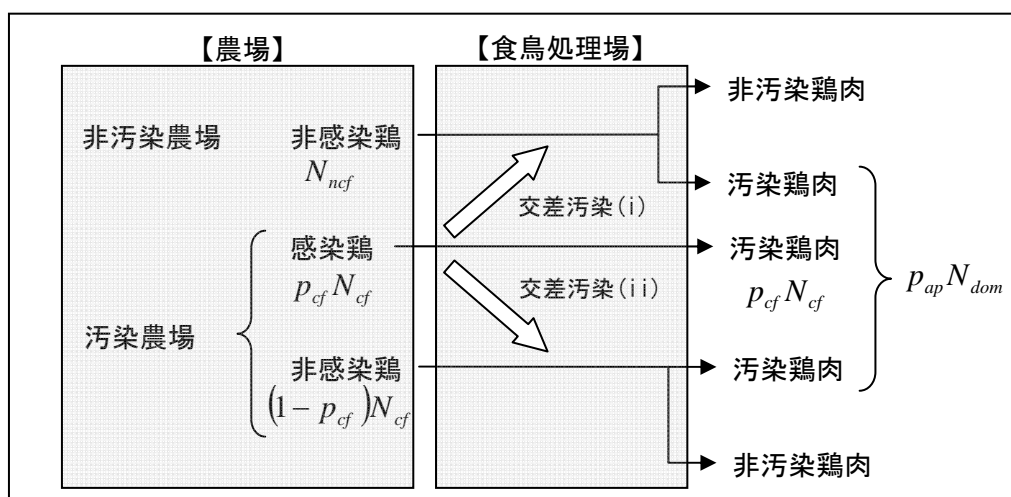


図 2.2 食鳥処理場における交差汚染のモデル化

4) 流通・小売段階

食鳥処理された鶏は、食肉処理工程を経て、もも肉やむね肉、手羽先、ハツ、レバー、砂肝など、鶏肉や内臓肉として各パーツに分かれて流通する。ここで、感染鶏から食肉処理を経て得られる各パーツが必ずしも汚染されているとは限らない。しかし、感染鶏のどの部位（パーツ）がどれだけ汚染されているかといったデータはほとんどない。また、本分担研究でのリスク評価モデルにおいては、取り扱う単位をすべて羽数に統一する方針としていることから、以下の仮定を設定する。

- ・食鳥処理後の汚染鶏から得られる全ての部位（パーツ）は汚染されている。
 - ・食鳥処理後の非汚染鶏から得られる全ての部位（パーツ）は汚染されていない。
- ※これは、ある部位の鶏肉等が汚染されていれば、もとの鶏は汚染鶏として取り扱い、汚染されていないければ、もとの鶏は非汚染鶏として取り扱うことを意味する。

以上の仮定に従えば、輸入鶏肉 N_{imp} (羽/年)を含めて国内で流通する鶏肉数を $N_{dist} = N_{dom} + N_{imp}$ とし、輸入鶏肉の汚染率を p_{imp} とすると、流通・小売段階(distribution)での鶏肉の汚染率 p_{dist} は、国内で流通する汚染鶏肉数を国内で流通する鶏肉数で除したも
 のとなる。国内で流通する汚染鶏肉数は、国内産汚染鶏肉数と輸入汚染鶏肉数の和である。
 従って、 p_{dist} は次式のとおり定式化される。

$$p_{dist} = \frac{p_{ap} N_{dom} + p_{imp} N_{imp}}{N_{dist}}$$

ここで、各種文献における流通・小売段階での鶏肉汚染状況のデータから流通・小売段階での鶏肉の汚染率 p_{dist} を求めることができる。また、各種文献における輸入鶏肉の汚染状況のデータから輸入鶏肉の汚染率 p_{imp} を求めることができる。従って、未知数である p_{ap} は、上式を変形した次式から求めることができる。

$$p_{ap} = \frac{p_{dist} N_{dist} - p_{imp} N_{imp}}{N_{dom}}$$

この p_{ap} の式を、3) で求めた食鳥処理段階における交差汚染率 p_{pcc} の式に代入すると、 p_{pcc} は次式で求めることができる。

$$p_{pcc} = \frac{p_{ap} N_{dom} - P_{cf} N_{cf}}{N_{nef} + (1 - p_{cf}) N_{cf}} = \frac{p_{dist} N_{dist} - p_{imp} N_{imp} - P_{cf} N_{cf}}{N_{nef} + (1 - p_{cf}) N_{cf}}$$

5) 調理・喫食段階

流通段階を経て家庭に持ち込まれた汚染鶏肉によって、消費者は(i)不十分に加熱調理された鶏肉料理あるいは生鶏肉（生食）を喫食すること（喫食暴露）、(ii)汚染鶏肉から交差汚染された RTE 食品を喫食すること（交差汚染暴露）^v、の2経路からカンピロバクターに暴露される（図 2.3）。

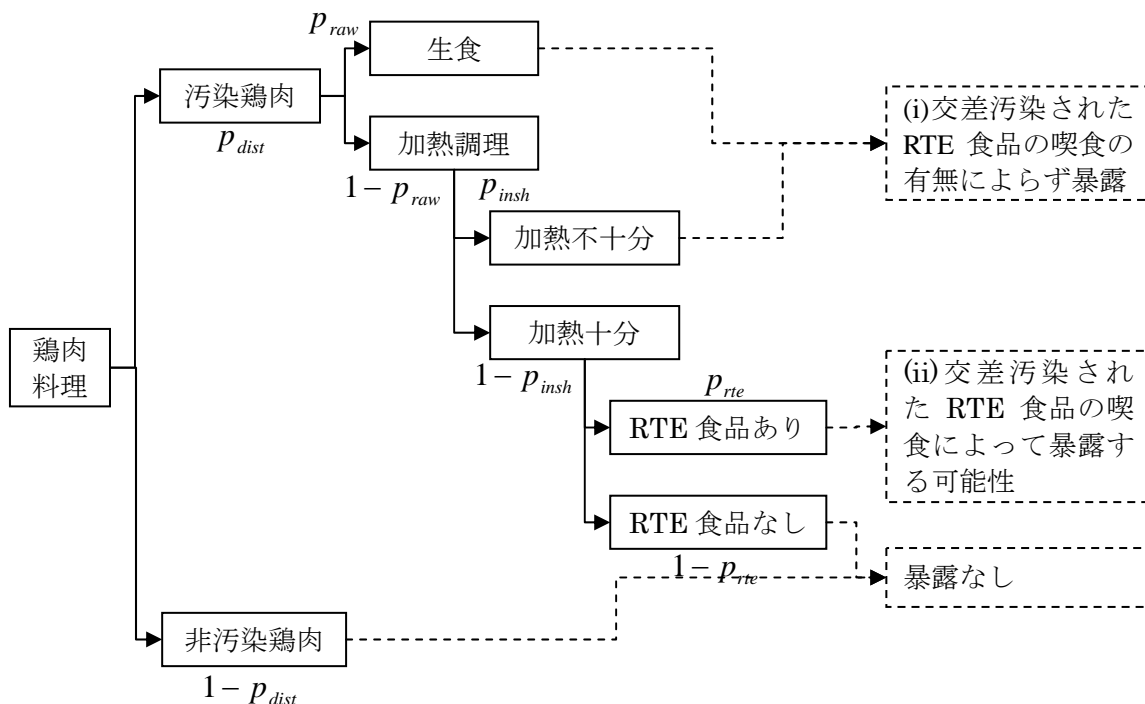


図 2.3 暴露経路

①喫食暴露(Exposure through Consumption)

喫食暴露は汚染鶏肉を生食するか、加熱調理するものの加熱が不十分な場合に生じる。鶏肉料理が供される食事ごとに家庭に持ち込む鶏肉が独立であると仮定すると、鶏肉料理が供される食事において食材となる鶏肉が汚染されている確率は p_{dist} である。また、鶏肉を生食(raw eating)する割合を p_{raw} とする。このとき、鶏肉を加熱調理する割合は生食をしない割合であるため $(1 - p_{raw})$ となる。さらに、鶏肉を加熱調理する際に、加熱が不十分 (insufficiently heated) な割合を p_{insh} とする。このとき、一食あたりの喫食による暴露確率 E_{cons} (汚染率/食) は次式で求めることができる。

$$E_{cons} = \underbrace{p_{dist} p_{raw}}_{\text{汚染鶏肉を生食する確率}} + \underbrace{p_{dist} (1 - p_{raw}) p_{insh}}_{\text{汚染鶏肉を加熱調理するが、加熱が不十分な確率}} = p_{dist} (p_{raw} + (1 - p_{raw}) p_{insh})$$

^v 交差汚染暴露には多様な経路が考えられるが、ここでは CFIA/FDA(1999)に倣って、上記の1シナリオをとりあげる。

②交差汚染暴露(Exposure through Cross-Contamination)

交差汚染暴露は、汚染鶏肉は十分に加熱調理するものの、鶏肉調理と並行して RTE 食品を調理している場合に、汚染鶏肉を取り扱った手指や調理器具を介して RTE 食品が汚染され、当該 RTE 食品を喫食することで発生するとのシナリオに基づく。

鶏肉料理が供される食事ごとに家庭に持ち込む鶏肉が独立であると仮定すると、鶏肉料理が供される食事において食材の鶏肉が汚染されている確率は p_{dist} である。また、鶏肉料理とともに RTE 食品が調理される割合を p_{rte} とする。このとき、鶏肉料理とともに RTE 食品が調理され、しかも喫食暴露が発生しない確率は^{vi}、図 2.3 より、 $(1 - P_{raw})(1 - P_{insh})P_{rte}$ となる。

RTE 食品の調理過程における交差汚染の原因となる行為の発生頻度を p_{ccc} とする。当該行為が行われれば、RTE 食品への交差汚染が発生すると想定する。ただし、汚染鶏肉に含まれる菌数および交差汚染による菌の移行率によっては、当該行為が行われても RTE 食品に菌が移行しない可能性がある^{vii}。そこで、モデルを羽数単位で構築するとの基本方針に基づき、当該行為による交差汚染確率を汚染鶏肉 1 羽当たりの移行菌数 n_{camp} を用いてモデル化する。すなわち、 $n_{camp} = 10^2$ 個/羽であれば、汚染鶏肉 1 羽当たり 1% の確率で交差汚染が発生すると考える。1 食あたりの鶏肉喫食数を $Cons$ (羽/食) = 1 食あたり喫食量(g/食)/1 羽当たり平均重量(g/羽) とすると、RTE 食品が交差汚染される確率 E_{cc} は次式で表される。

$$E_{cc} = p_{ccc} n_{camp} Cons \cdot p_{dist} (1 - p_{raw})(1 - p_{insh}) p_{rte} \quad (\text{ただし、} n_{camp} Cons \leq 1)$$

なお、交差汚染が発生する確率 p_{ccc} は、手洗いと調理器具の洗浄の状況の組合せによって決定されるものとする。この詳細なモデルについては、山本昭夫による本年度分担研究報告に詳細が記述されている。

6) 発症リスク

カンピロバクターは少数でも摂取すれば発症することから、以下の仮定を設定する。

- ・カンピロバクター菌を 1 個でも摂取すれば発症する (汚染鶏肉の生食、不完全加熱料理の喫食および交差汚染され菌が移行した RTE 食品の喫食)

この仮定に従えば、1 食当たりの発症リスク $p_{ipm} = (E_{cons} + E_{cc})$ となる。

年間鶏肉料理喫食回数を M (食/年) とすると、年間発症確率 $p_{ipy} = p_{ipm} M$ となる。また、わが国の人口を P (人) とすると、年間発症者数 $P_{ipy} = p_{ipy} P$ となる。

^{vi} ここでは汚染率のみに着目してモデルを構築しており、喫食暴露が発生する経路では必ず暴露が発生するため、当該経路を含めると暴露リスクがダブルカウントされるため。

^{vii} 例えば、移行率 1% で汚染鶏肉に含まれる菌数が 100 個未満のときなど。

7) リスク評価モデルの概要

段階	指標	表記	データ	備考
農場(Farm)	国内出荷鶏数	N_{dom} (羽/年)	農水省統計データ	農場段階での鶏の感染率 $p_f = \frac{p_{cf} N_{cf}}{N_{dom}} = r \cdot p_{cf}$
	農場汚染割合	r^*	農水省データ	
	汚染農場での鶏の感染率	p_{cf}^*		
	汚染農場での年間出荷鶏数	N_{cf} (羽/年)		
	非汚染農場での年間出荷鶏数	N_{ncf} (羽/年)		
輸送(Transport)	—	—	—	輸送過程で鶏の汚染率は不変と仮定
食鳥処理(Processing)	食鳥処理前の鶏の汚染率	p_{bp}		輸送段階の仮定により $p_{bp} = p_f$
	食鳥処理後の鶏肉の汚染率	p_{ap}		交差汚染により増大: $p_{ap} > p_{bp}$
	交差汚染率	p_{pcc}		非汚染鶏の汚染率 $p_{pcc} = \frac{p_{ap} N_{dom} - p_{cf} N_{cf}}{N_{ncf} + (1 - p_{cf}) N_{cf}}$
輸入(Import)	鶏肉輸入量	N_{imp} (羽/年)	農水省統計データ	
	輸入鶏肉の汚染率	p_{imp}^*	文献データ	
流通(Distribution)	鶏肉流通量	N_{dist}		$N_{dist} = N_{dom} + N_{imp}$
	流通段階での鶏肉の汚染率	p_{dist}^*	文献データ	$p_{dist} = \frac{p_{ap} N_{dom} + p_{imp} N_{imp}}{N_{dist}}$
交差汚染(Cross-Contami)	交差汚染による一食あたり暴露確率	E_{cc} (汚染率/食)		$E_{cc} = P_{ccc} n_{camp} Cons P_{dist} (1 - P_{raw}) (1 - P_{insh}) P_{rte}$ (ただし、 $n_{camp} Cons \leq 1$) $Cons$ (羽/食) = 1 食あたり喫食量(g/食)/1羽当たり平均重量(g/羽)
	交差汚染が発生する確率	p_{ccc}^*	アンケートデータ	
	一食あたりの鶏肉喫食量	$Cons$ (羽/食)*		
	一羽あたり交差汚染で移行する菌量	n_{camp} (個/羽)		
調理(Consumption)	加熱不十分な調理の割合	p_{insh}^*	アンケートデータ	$E_{cons} = p_{dist} (p_{raw} + (1 - p_{raw}) p_{insh})$
	生食の割合	p_{raw}^*		
	RTE 食品を調理する割合	p_{rte}^*		
	一食あたり喫食による暴露確率	E_{cons} (汚染率/食)		

喫食(Meals)	年間鶏肉料理喫食回数	M (食/年)*	アンケートデータ	
発症(Illness)	一食あたりの発症確率	p_{ipm}		$p_{ipm} = E_{cons} + E_{cc}$
	年間発症確率	p_{ipy}		$p_{ipy} = p_{ipm}M$
	人口	P (人)	統計データ	全人口が鶏肉を喫食すると仮定
	年間発症者数	P_{ipy} (人/年)		$P_{ipy} = p_{ipy}P$

*を付した指標には確率分布を与える。

(2) カンピロバクターによる食中毒対策シナリオ

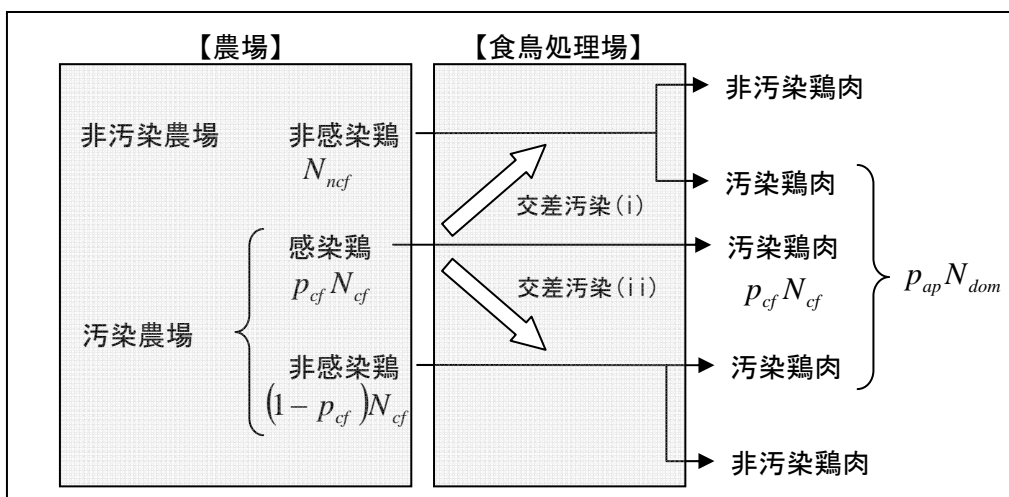
1) 農場での管理

農場における衛生管理を見直すことで、汚染農場の割合を低減させた場合を想定する。具体的な対策は必ずしも明確ではなく、当然、農場汚染率の低減効果も不明である。そこで、リスク評価モデルにおいて現在の農場汚染率を感度分析的に 90%から 10%まで 10%刻みで低減させて、その効果を把握する。

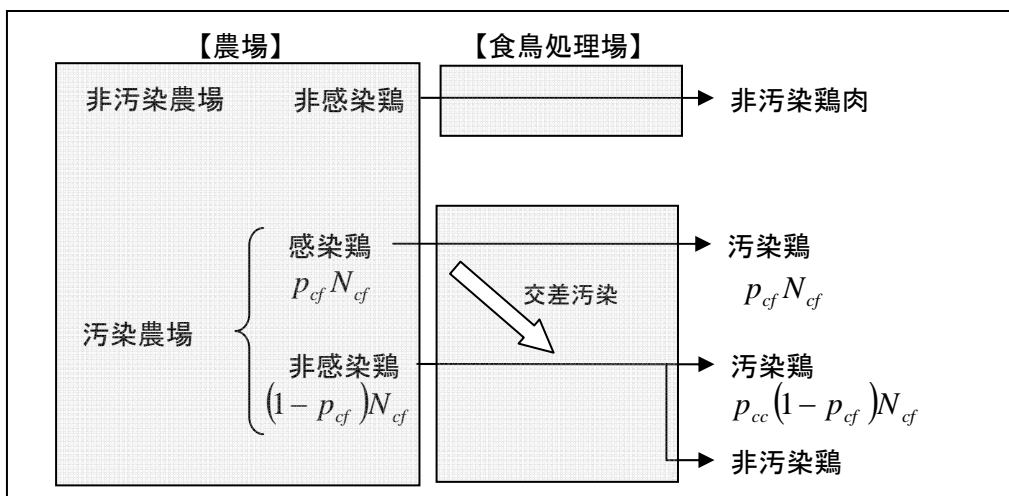
2) 食鳥処理場の区分

基本シナリオで、食鳥処理過程において汚染農場から出荷された鶏と非汚染農場から出荷された鶏とを区別して食鳥処理を行う。具体的には、毎日、食鳥処理ラインにおいて、非汚染農場から出荷された鶏（非感染鶏）を先に処理し、次に汚染農場から出荷された鶏を処理する（処理時間の分離）。

<基本シナリオ>



<食鳥処理の区分シナリオ>



当該措置により、非汚染農場からの鶏は食鳥処理過程での交差汚染を免れる。ただし、汚染農場から出荷された非汚染鶏は食鳥処理過程で従前と同じ交差汚染率で汚染される。

この交差汚染による非汚染鶏の汚染数は次式で表わされる。

汚染農場の非汚染鶏のうち、交差汚染によって汚染される数 $= p_{cc} \cdot (1 - p_{cp}) N_c$

一方、非汚染農場からの鶏の食鳥処理後の汚染率はゼロのままである。

従って、食鳥処理後の鶏肉の汚染率 $p'_{pa} = \frac{p_{cf} N_{cf} + p_{cc} \cdot (1 - p_{cf}) N_{cf}}{N_{dom}}$

よって、流通段階での鶏肉の汚染率 $p'_{dist} = \frac{p'_{pa} N_{dom} + p_{imp} N_{imp}}{N_{dist}}$ となる。

3) 調理

① 加熱調理の徹底

カンピロバクターによる食中毒に関する意識啓発・教育等を行うことで、加熱調理の徹底を図り、不十分な加熱調理や生食を削減する。ただし、意識啓発・教育等によって、不十分な加熱調理や生食がどれだけ削減されるかは不明である。そこで、リスク評価モデルにおいて現在の不十分な加熱調理や生食の割合を感度分析的に 90%から 10%まで 20%刻みで低減させて、その効果を把握する方法が考えられる。

② 交差汚染の防止

カンピロバクターによる食中毒に関する教育を行うことで、誤った調理方法、調理手順等による交差汚染を削減する。ただし、教育によって、誤った調理方法、調理手順等による交差汚染がどれだけ削減されるかは不明である。そこで、リスク評価モデルにおいて現在の誤った調理方法、調理手順等による交差汚染の確率を感度分析的に 90%から 10%まで 20%刻みで低減させて、その効果を把握する方法が考えられる。

2. 3 確率論的モデルの構築

本分担研究の確率論的モデルは、表計算ソフト Microsoft Excel とそのリスク解析用アドオンソフト@RISK4.5 で構築した。以下、“Risk”が先頭につく関数は@RISK の関数である。

本分担研究で構築した確率論的モデルにおける不確実性の分布では、標本調査に基づく母集団に占める対象属性の割合や率の不確実性の分布を推定するために、パラメトリック分布であるベータ分布を多用している。これは、次の理論的背景に基づくものである⁴。n 回の試行を実施したときに、成功回数が s 回となった場合、成功確率 p の尤度関数は $l(p) \propto p^s (1-p)^{n-s}$ と表される。事前分布として一様事前分布 $Beta(1,1)$ を仮定すると、ベ

イズの定理より、事後分布 $f(p) = \frac{p^s (1-p)^{n-s}}{\int_0^1 p^s (1-p)^{n-s} dp} = Beta(s+1, n-s+1)$ となる。すなわ

ち、成功確率 p の不確実性の分布は $Beta(s+1, n-s+1)$ と表される。

(1) リスク評価モデル

1) 農場段階

2. 2 (1) 1) で整理したとおり、農林水産省「平成 18 年度動物由来感染症調査成績」(参考資料 1) によれば、標本農場数 331 農場中、標本汚染農場は 130 農場であるため、農場汚染率 r の不確実性分布は次式のベータ分布で表される。

$$\cdot \text{農場汚染率 } r = RiskBeta(130+1, 331-130+1) = RiskBeta(131, 202)$$

また、汚染農場における検査羽数 1446 羽中、感染鶏数は 852 羽であるため、汚染農場における鶏の感染率 p_{cf} の不確実性分布は次式のベータ分布で表される。

$$\cdot \text{汚染農場における鶏の感染率 } p_{cf} = RiskBeta(853, 595)$$

$$\cdot \text{農場段階での鶏の感染率 } p_f = r \cdot p_{cf}$$

農林水産省「2005 年農林センサス」^{viii}によれば、国内の年間出荷鶏数 $N_{dom} = 471,645,984$ (羽/年) である。このデータと農場汚染率から、汚染農場からの感染鶏および非感染鶏の年間出荷数 N_{cf} およびが次式のとおり求められる。

$$\cdot \text{汚染農場からの感染鶏の年間出荷数 } N_{cf} = N_{dom} \cdot p_f$$

$$\cdot \text{非汚染農場からの年間出荷数 } N_{ncf} = N_{dom} \cdot (1 - p_f)$$

表 2.5 農場段階の確率論的モデル

項目	算出式
農場汚染率 r	$r = RiskBeta(131, 202)$
汚染農場における鶏の感染率 p_{cf}	$p_{cf} = RiskBeta(853, 595)$
農場段階での鶏の感染率 p_f	$p_f = r \cdot p_{cf}$
国内の年間出荷鶏数 N_{dom}	$N_{dom} = 471,645,984$ (羽/年)
汚染農場からの感染鶏の年間出荷数 N_{cf}	$N_{cf} = N_{dom} \cdot p_f$
非汚染農場からの年間出荷数 N_{ncf}	$N_{ncf} = N_{dom} \cdot (1 - p_f)$

^{viii} ブロイラー年間出荷羽数 1,000 羽以上の農業経営体に関するデータ

2) 流通・小売段階

Farm-to-Folk のプロセスは、農場段階、輸送段階、食鳥処理段階、流通・小売段階とつづく。輸送段階ではモデル化すべき事項はないため、流れとしては、農場段階の次には食鳥処理段階のモデル化を行う必要がある。しかし、食鳥処理段階で求める必要がある交差汚染率は、2. 2 (1) 3) および4) で述べたとおり、流通段階のデータから逆算される食鳥処理後の鶏肉汚染率から求めなければならないため、ここでは食鳥処理段階に先立って、流通・小売段階のモデル化を行う。

鈴木(2008)⁵⁾の市場流通輸入鶏肉のカンピロバクター汚染に係る報告事例と汚染状況に関するデータに基づいて集計すると、輸入鶏肉数 201 検体中、汚染輸入鶏肉数は 31 検体であったことから、輸入鶏肉の汚染率 p_{imp} の不確実性分布は次式のベータ分布で表される。

$$\cdot p_{imp} = RiskBeta(32,171)$$

また、農林水産省「2006 年農林水産物輸出入概況」によれば、年間輸入鶏肉重量は 371 千トン/年であり、大ビナの重量は約 3kg/羽 (食鳥処理場ヒアリング) であることから、輸入鶏肉数 N_{imp} および国内流通鶏肉数 N_{dist} は、以下のように算出される。

$$\cdot \text{輸入鶏肉数 } N_{imp} = 123,667(\text{羽/年})$$

$$\cdot \text{国内流通鶏肉数 } N_{dist} = N_{dom} + N_{imp} = 471,769,651(\text{羽/年})$$

さらに、鈴木(2008)の流通鶏肉のカンピロバクター汚染に係る報告事例と汚染状況に関するデータに基づいて集計すると、流通鶏肉数 1828 検体中、汚染流通鶏肉数は 1115 検体であったことから、流通鶏肉の汚染率 p_{dist} の不確実性分布は次式のベータ分布で表される。

$$\cdot p_{dist} = RiskBeta(1116,714)$$

表 2.6 流通・小売段階の確率論的モデル

項目	算出式
輸入鶏肉の汚染率 p_{imp}	$p_{imp} = RiskBeta(32,171)$
輸入鶏肉数 N_{imp}	$N_{imp} = 123,667(\text{羽/年})$
国内流通鶏肉数 N_{dist}	$N_{dist} = 471,769,651(\text{羽/年})$
流通鶏肉の汚染率 p_{dist}	$p_{dist} = RiskBeta(1116,714)$

3) 食鳥処理段階

食鳥処理段階における食鳥処理後の鶏肉汚染率 p_{ap} および交差汚染率 p_{pcc} は 1) および 2) で求めた各種の値を用いて、それぞれ次式から求めることができる。

$$\begin{aligned} \cdot p_{ap} &= \frac{p_{dist} N_{dist} - p_{imp} N_{imp}}{N_{dom}} \\ \cdot p_{pcc} &= \frac{p_{dist} N_{dist} - p_{imp} N_{imp} - p_{cf} N_{cf}}{N_{nef} + (1 - p_{cf}) N_{cf}} \end{aligned}$$

ここで、2) において流通・小売段階の鶏肉の汚染率は鈴木(2008)のデータに基づいて推定したが、調理・喫食段階のインプットとして用いる流通鶏肉の汚染率は、食鳥処理場での交差汚染率に基づいて算出されるべきである。なぜなら、データに基づく流通鶏肉の汚染率をそのまま調理・喫食段階のインプットとして用いてしまうと、最終的なリスク評価モデルには、農場段階および食鳥処理段階でのリスクは一切反映されないためである。すなわち、データに基づく流通鶏肉汚染率は、交差汚染率を求めるためだけに用いるべきであり、調理・喫食段階へのインプットとして用いてはならない。

また、上記の算出式から得られた交差汚染率をそのまま用いることもできない。なぜなら、この交差汚染率は、データに基づく流通鶏肉汚染率との恒等式に基づいて算出されているため、この交差汚染率をそのまま用いて流通鶏肉汚染率を計算してしまうと、農場段階および食鳥処理段階でのリスクは式の中で相殺され、データに基づく元の流通鶏肉汚染率と同じ値を常にとってしまうためである。

そこで、食鳥処理場での交差汚染率 p'_{pcc} として、上式で求めた交差汚染率の平均値を用いることとする。上式の交差汚染率の値は、データに基づく流通鶏肉汚染率の不確実性分布に連動するため、確率分布に従う。モンテカルロシミュレーションを実行する中で平均値をとる方法として、次式のように@RISK の *RiskMean* 関数を用いる方法がある。

$$\cdot p'_{pcc} = \text{RiskMean}(p_{pcc})$$

RiskMean 関数は、シミュレーションを実行する過程で、抽出されたサンプル値を用いて試行のたびに平均値を更新していく関数である。従って、シミュレーションの初期段階では、抽出されたサンプル値によっては平均値が大きく変動するため、シミュレーション過程では厳密な平均値とは異なる値を用いて計算が行われるおそれがある。しかし、一定の試行を繰り返すことによってその値は一定の値に収斂していく。また、本分担研究では数多くの仮定や前提を設定しており、各種データの精度も十分に高いとはいえないため、交差汚染率の精度を必要以上に求めることは有益ではない。

以上の検討より、調理・喫食段階のインプットとして用いる流通鶏肉汚染率 p'_{dist} は、交差汚染率 p'_{pcc} を用いて次式のとおり算出することとする。

$$p'_{dist} = \frac{p'_{pcc} (N_{nef} + (1 - p_{cf}) N_{cf}) + p_{imp} N_{imp} + p_{cf} N_{cf}}{N_{dist}}$$

4) 調理・喫食段階

① 喫食暴露

(i) 生食による暴露確率

平成 18 年度の食品安全委員会調査事業のアンケート調査結果⁶では鶏肉の生食頻度を推定するためのデータは得られていない。ここでは、さまざまな仮定を設定して鶏肉の生食頻度をモデル化する。

鶏肉を年に 1 回以上生食する消費者の割合は 2 割と仮定する。なお、鶏肉の生食頻度が年に 1 回未満の消費者の生食頻度はゼロとする。

年に 1 回以上鶏肉を生食する消費者の生食頻度の分布は、最小値および最確値が年 1 回、最大値が年 30 回（2 週間弱に 1 回程度）の三角分布 $RiskTriang\left(\frac{1}{365}, \frac{1}{365}, \frac{30}{365}\right)$ で表されるものとする。

上記から、全消費者の鶏肉の生食頻度 p_{raw} は、次式の離散分布で表される^{ix}。この分布は 80% の確率で 0 を返し、20% の確率で上記の三角分布から抽出したサンプル値を返すことを意味する。

$$\cdot p_{raw} = RiskDiscrete\left(\left\{0, RiskTriang\left(\frac{1}{365}, \frac{1}{365}, \frac{30}{365}\right)\right\}, \{80\%, 20\%\}\right)$$

(ii) 不十分加熱調理の頻度

平成 18 年度の食品安全委員会調査事業のアンケート調査結果では鶏肉の不十分加熱調理の頻度を推定するためのデータは得られていない。ここでは、鶏肉の不十分な加熱調理の頻度 p_{insh} を 2% と仮定する。

(iii) 喫食暴露確率

(i) および(ii) から、喫食暴露確率 E_{cons} は次式で算出される。

$$\cdot E_{cons} = p'_{dist}(p_{raw} + (1 - p_{raw})p_{insh})$$

^{ix} @RISK では、一つのセルに @RISK 関数を入れ子で用いることはできないため、一つのセルで三角分布 $RiskTriang$ を入力しておき、もう一つのセルで当該セルを参照する離散分布を入力する必要がある。

② 交差汚染暴露

交差汚染暴露のモデル化の詳細は山本昭夫の分担研究報告を参照のこと。

(i) 調理器具を介した交差汚染

ア) 鶏肉から調理器具への交差汚染率

鶏肉から調理器具への交差汚染率は、鶏肉からまな板への交差汚染率 1.25%を適用する。

イ) 調理器具洗浄習慣による菌の生残率

調理器具洗浄習慣については、食品安全委員会のアンケート調査結果に基づき、調理器具の使い分けとして「まな板や包丁を生肉や生魚用とその他の食材（野菜など）用とは別にしている」回答者と、「どちらか一方または両方とも同じもの使用」しているが、調理手順として「他の食材を調理してから生肉や生魚を調理することが多い」という良好な調理器具洗浄習慣を有する回答者を「good」とし、「生肉や生魚を調理してから他の食材を調理することが多い」「決まっていない」との回答者を「bad」として集計した上で^x、平成 17 年国勢調査人口（日本人）で性・年齢別に拡大推計し、その人数・割合を求めた。

また、調理器具洗浄習慣による菌の生残率（汚染機会評価）は、「good」は 0（調理器具への菌の移行なし）、「bad」は 1（必ず調理器具に菌は移行）とした。

器具洗浄習慣による菌の生残率は離散分布を用いて次式のとおりとモデル化した。

$$\cdot RiskDiscrete(\{0,1\}, \{58.5\%, 41.5\%\})$$

表 2.7 調理器具洗浄習慣による菌の生残率

器具洗浄習慣	人数	割合	菌の生残率
good	36,229,421	58.5%	0
bad	25,726,735	41.5%	1

ウ) 調理器具洗浄方法による菌の生残率

調理器具洗浄方法については、食品安全委員会のアンケート調査結果に基づき、生肉や生魚を切った後、次の食材を扱う前にまな板や包丁を「洗剤で洗って使う」「水で洗った後消毒する」「洗剤を使って洗った後、消毒する」という非常に良好な調理器具洗浄方法を行っている回答者を「very good」、「水で洗って使う」という良好な調理器具洗浄方法を行っている回答者を「good」、「そのまま使う」との回答者を「bad」として集計した上で^{xi}、平成 17 年国勢調査人口（日本人）で性・年齢別に拡大推計し、その人数・割合を求めた。

また、調理器具洗浄方法による菌の生残率（汚染機会評価）は、「very good」は 0（調理器具での菌の生残なし）、「good」は 0.0347（調理器具での菌の生残ほとんどなし）、「bad」は 1（必ず調理器具に菌は生残）とした。

器具洗浄方法による菌の生残率は離散分布を用いて次式のとおりモデル化した。

$$\cdot RiskDiscrete(\{0,0.0347,1\}, \{65.1\%, 32.8\%, 2.1\%\})$$

^x 調理器具の使い分けと調理手順のいずれかが不詳の回答者は集計から除いた。

表 2.8 調理器具洗浄方法による菌の生残率

器具洗浄方法	人数	割合	菌の生残率
Very good (洗剤・消毒)	40,361,933	65.1%	0
Good (水洗)	20,299,989	32.8%	0.0347
bad (洗わない)	1,294,234	2.1%	1

エ) 調理器具から RTE 食品への交差汚染率

調理器具から RTE 食品への交差汚染率は、まな板から RTE 食品への交差汚染率 34.3%を適用する。

オ) 調理器具を介した交差汚染率

調理器具を介した交差汚染率は、ア)~エ)の積として算出される。

表 2.9 調理器具を介した交差汚染率

項目	算出式
ア) 鶏肉から調理器具への交差汚染率	1.25%
イ) 調理器具洗浄習慣による菌の生残率	$RiskDiscrete(\{0,1\}, \{58.5\%, 41.5\%\})$
ウ) 調理器具洗浄方法による菌の生残率	$RiskDiscrete(\{0, 0.0347, 1\}, \{65.1\%, 32.8\%, 2.1\%\})$
エ) 調理器具から RTE 食品への交差汚染率	34.3%
オ) 調理器具を介した交差汚染率	ア) × イ) × ウ) × エ)

(ii) 手指を介した交差汚染

ア) 鶏肉から手指への交差汚染率

鶏肉から手指への交差汚染率は 4.15%を適用する。

イ) 手洗い習慣による菌の生残率

手洗い習慣については、食品安全委員会のアンケート調査結果に基づき、「調理中、生肉・生魚を扱った後」「調理中、食材を扱った後」という良好な手洗い習慣を有する回答者を「good」、「調理前」「調理中、生卵を扱った後」「調理中、一定時間ごとに」「調理が終わった後」「トイレに行った後」との回答者を「bad」として集計した上で^{xii}、平成 17 年国勢調査人口（日本人）で性・年齢別に拡大推計し、その人数・割合を求めた。

また、手洗い習慣による菌の生残率（汚染機会評価）は、「good」は 0（手指への菌の移行なし）、「bad」は 1（必ず手指に菌は移行）とした。

手洗い習慣による菌の生残率は離散分布を用いて次式のとおりモデル化した。

$$\cdot RiskDiscrete(\{0,1\}, \{87.5\%, 12.5\%\})$$

表 2.10 手洗い習慣による菌の生残率

手洗い習慣	人数	割合	菌の生残率
good	71,227,076	87.5%	0
bad	10,217,815	12.5%	1

^{xi} 不詳の回答者は集計から除いた。

^{xii} 不詳の回答者は集計から除いた。

ウ) 手洗い洗浄方法による菌生残率

手洗い洗浄方法については、食品安全委員会のアンケート調査結果に基づき、「石鹸または洗剤で洗う」「水（湯）で洗った後、薬品で消毒する」「石鹸または洗剤で洗った後、薬品で消毒する」との非常に良好な手洗い洗浄方法を行っている回答者を「very good」、「水（湯）で洗う」との良好な手洗い洗浄方法を行っている回答者を「good」、「その他」の回答者を「bad」として集計した上で^{xiii}、平成 17 年国勢調査人口（日本人）で性・年齢別に拡大推計し、その人数・割合を求めた。

また、手洗い方法による菌の生残率（汚染機会評価）は、「very good」は 0（手指での菌の生残なし）、「good」は 0.005%（手指で菌の生残ほとんどなし）、「bad」は 1（必ず手指に菌が生残）とした。

手洗い方法による菌の生残率は離散分布を用いて次式のとおりモデル化した。

$$\cdot RiskDiscrete(\{0,0.005\%,1\},\{50.4\%,49.4\%,0.3\%\})$$

表 2.11 手洗い洗浄方法による菌生残率

手洗い方法	人数	割合	菌の生残率
very good (洗剤・消毒)	40,971,988	50.4%	0
good (水洗)	40,156,752	49.4%	0.005%
bad (洗わない)	20,8076	0.3%	1

エ) 手指から RTE 食品への交差汚染率

手指から RTE 食品への交差汚染率は 2.07%を適用する。

オ) 手指を介した交差汚染率

手指を介した交差汚染率は、ア)～エ)の積として算出される。

表 2.12 手指を介した交差汚染率

項目	算出式
ア) 鶏肉から手指への交差汚染率	4.15%
イ) 手洗い習慣による菌の生残率	$RiskDiscrete(\{0,1\},\{87.5\%,12.5\%\})$
ウ) 手洗い洗浄方法による菌の生残率	$RiskDiscrete(\{0,0.005\%,1\},\{50.4\%,49.4\%,0.3\%\})$
エ) 手指から RTE 食品への交差汚染率	2.07%
オ) 手指を介した交差汚染率	ア) × イ) × ウ) × エ)

(iii) 交差汚染で移行する菌数

交差汚染で移行する菌数は $n_{camp} p_{ccc}$ に相当する。

$$\cdot n_{camp} p_{ccc} = \text{調理器具を介した交差汚染率} + \text{手指を介した交差汚染率}$$

^{xiii} 不詳の回答者は集計から除いた。

(iv) 交差汚染暴露

一人当たり年間鶏肉喫食量(g/年・人)は、食品安全委員会のアンケート調査結果に基づき、年間鶏肉喫食人数(人)、喫食量(g/年)を求めた上で、平成17年国勢調査人口(日本人)で性・年齢別に拡大推計して求めた。なお、ここでの鶏肉は正肉と内臓肉の双方を含む。

表 2.13 年間鶏肉喫食人数・喫食量

人数(人)	喫食量(g/年)
105,943,707	1,307,163,077,271

これに、中ビナ1羽あたり重量2kg/羽(食鳥処理場ヒアリング)および年間喫食数=365×3=1095(食/年)を用いて一人一食あたりの鶏肉喫食量(羽数/食・人) $Cons$ を求めると、次式のとおりとなる。

$$\cdot \text{一人一食あたり鶏肉喫食量(羽数/食・人)} \quad Cons = 0.00563$$

また、鶏肉料理とともに RTE 食品が調理される割合 p_{rte} としては最小値ゼロ、最大値1の一様分布を仮定する。

$$\cdot p_{rte} = RiskUniform(0,1)$$

以上から、RTE 食品の交差汚染確率 $E_{cc}' = p_{ccc} n_{camp} Cons \cdot p_{dist} (1 - p_{raw})(1 - p_{insh}) p_{rte}$ を求めることができる。

5) リスク評価モデル

以上の確率論的リスクモデルを Microsoft Excel および @RISK4.5 で記述したスプレッドシートモデルを参考資料に示す。

2. 4 分析結果

(1) リスク評価

ここでは、これまで構築してきたカンピロバクターによる生鶏肉の食中毒リスクモデルのシミュレーション結果を示すとともに、その要因を分析する。この結果はリスク管理対策の効果を計測する際に比較対象として参照するベースケースとなる。

なお、カンピロバクターに対しては免疫が機能するが、本分担研究においては免疫の効果は考慮していない。このため、ここで得られた食中毒リスクは過大に評価されている可能性が高いことに留意する必要がある。

なお、シミュレーションは Palisade 社@Risk4.5 日本語版を用いて、ラテンハイパーキューブ法により 10 万回の試行を行った。

1) 年間発症者数

① 年間発症者数の分布

年間発症者数の分布は図 2.4 に示すとおりである。最小値 10,456 万人、最大値 56,797 万人、平均 14,230 万人、最頻値 11,054 万人であり、最小値や最頻値はわが国の全人口にほぼ匹敵し、最大値ではその 4.4 倍の規模となっている。

分布形は最頻値である 11,054 万人を中心に極めて高い集中が見られるが、図 2.5 に示すとおり、14,500 万人付近にも小さなピークがあり、分布は二峰性になっている。

なお、年間発症者数は、発症リスク（喫食 1 回あたり発症確率）および年間発症回数 の定数倍で得られるため、これらの分布形は x 軸のスケールが異なるだけであり、図 2.4 と全く同じ形状となる（図 2.6、図 2.7）。

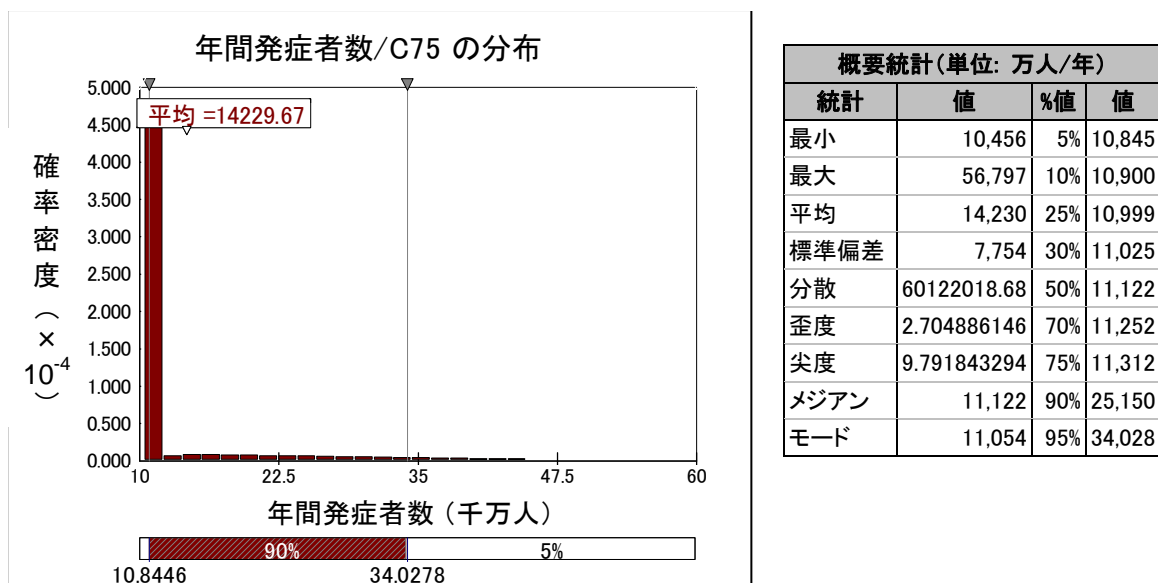


図 2.4 年間発症者数の分布

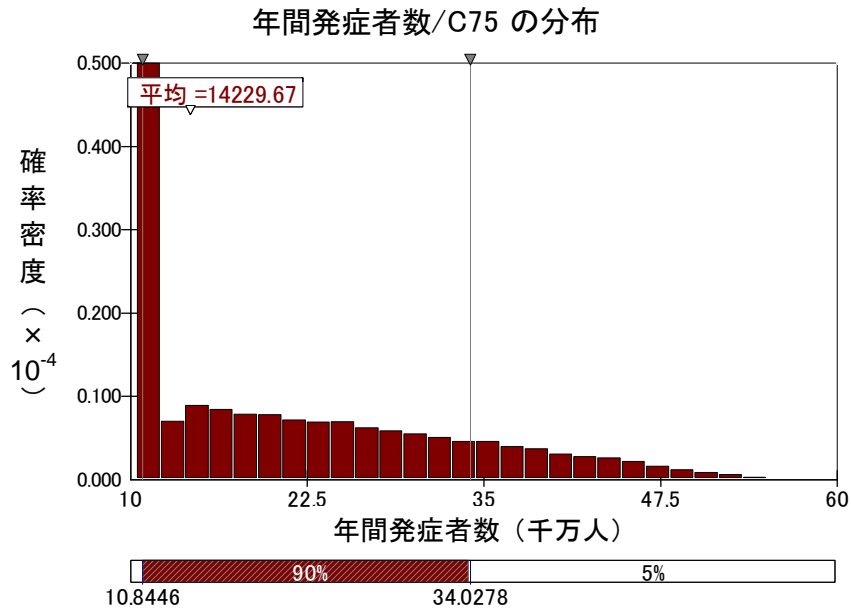
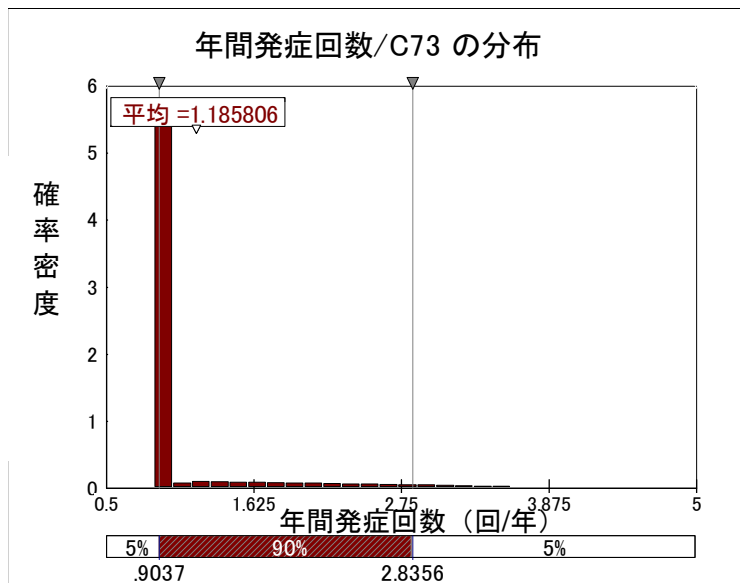


図 2.5 年間発症者数の分布 (Y 軸のスケールを拡大)



概要統計(回/年)			
統計	値	%値	値
最小	0.87	5%	0.90
最大	4.73	10%	0.91
平均	1.19	25%	0.92
標準偏差	0.65	30%	0.92
分散	0.417514019	50%	0.93
歪度	2.704886144	70%	0.94
尖度	9.791843283	75%	0.94
メジアン	0.93	90%	2.10
モード	0.91	95%	2.84

図 2.6 年間発症回数の分布

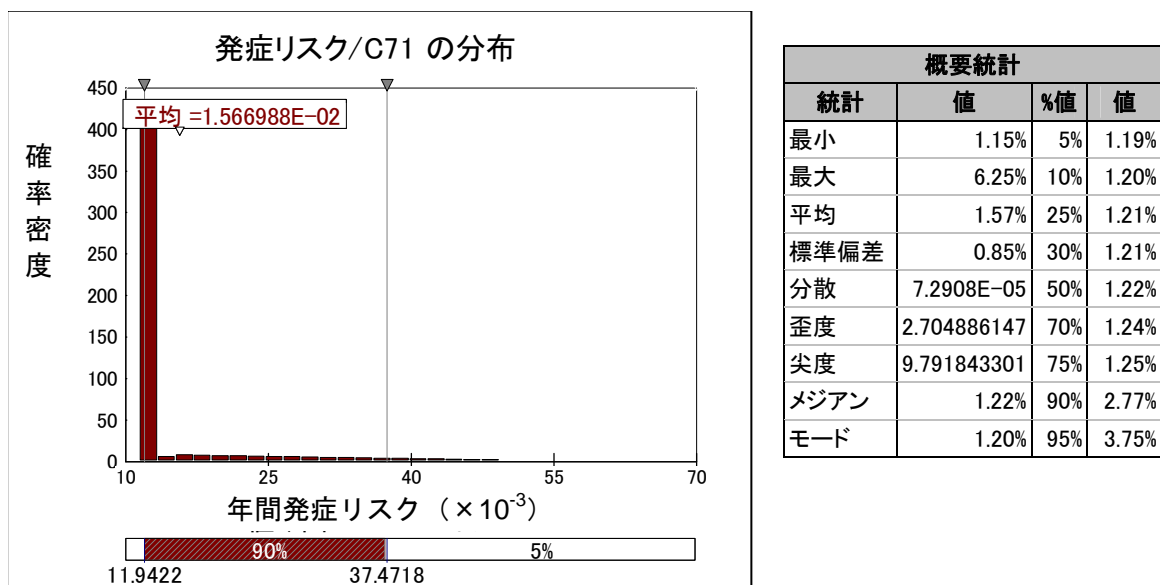


図 2.7 発症リスクの分布

② 感度分析

年間発症者数は、喫食暴露リスクと交差汚染暴露リスクの和（発症リスク）に比例する。そこで、年間発症者数と喫食暴露リスクおよび交差汚染暴露リスクとの関係を散布図に示すと図 2.8 および図 2.9 のとおりとなる。

図 2.8 からは、年間発症者数と喫食暴露リスクとがほぼ完全相関の関係にあることが分かる。一方、図 2.9 からは、年間発症者数と交差汚染暴露リスクとの間に相関関係がほとんどないことが分かる。これは、喫食暴露リスクが交差汚染暴露リスクに比べて年間発症者を規定する要因として卓越していることを意味する。従って、食中毒リスクである年間発症者数を削減するためには、喫食暴露リスクの削減に資するリスク管理策が有効であることが分かる。

また、年間発症者数の感度分析結果をみると、回帰感度^{xiv}では年間生食頻度の分布が 1 であり、次いで農場汚染率 0.024、汚染農場の鶏の感染率 0.0008 となっており（図 2.10）、年間発症者数が年間生食頻度の分布に非常に鋭敏に影響されることが分かる^{xv}。相関感度^{xvi}では、年間生食頻度の分布が 0.699、農場汚染率が 0.604、汚染農場の鶏の感染率が 0.193 となっており（図 2.11）、年間生食頻度の分布と農場汚染率が年間発症者数と強い関係を有していることが分かる。

^{xiv} アウトプットを被説明変数、入力項目を説明変数として、多変量重回帰分析を実施したときの各入力項目の重回帰係数を降順に並べたもの。この値が大きいほど、当該入力項目の値の変化がアウトプットの値の変化に大きな影響を及ぼすといえる。

^{xv} ただし、生食頻度の分布の範囲は小さいため、回帰感度の結果からだけでは生食分布が年間発症者数に支配的な影響を有するとは言い切れない。従って、生食対策が有効なリスク管理措置になるとも言いきれない。

^{xvi} アウトプットと入力項目の順位相関係数を降順に並べたもの。この値が大きいほど、当該入力項目とアウトプットが類似の変化をしているといえる。

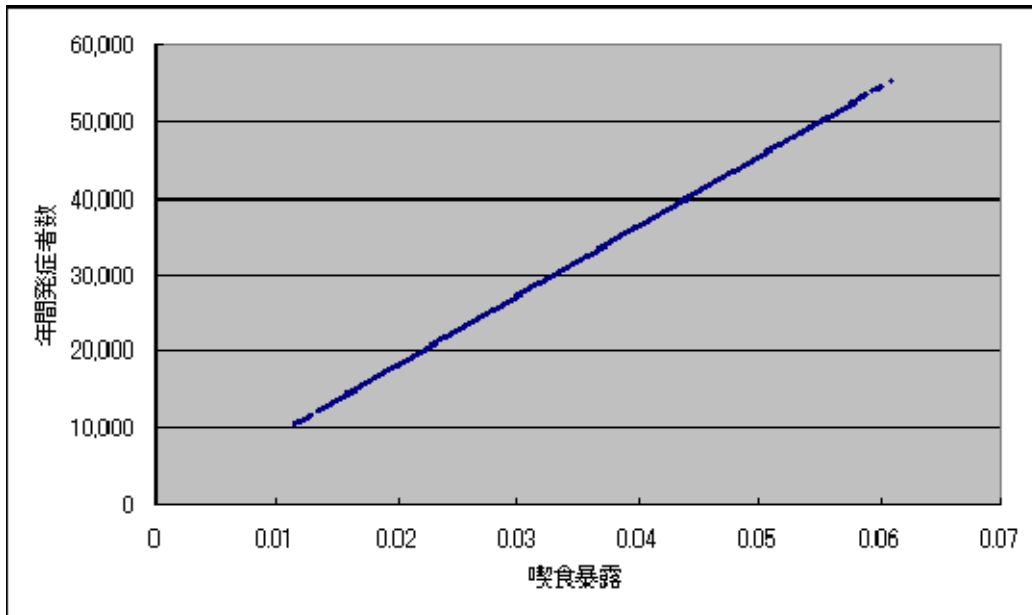


図 2.8 年間発症者数と喫食暴露リスクとの関係

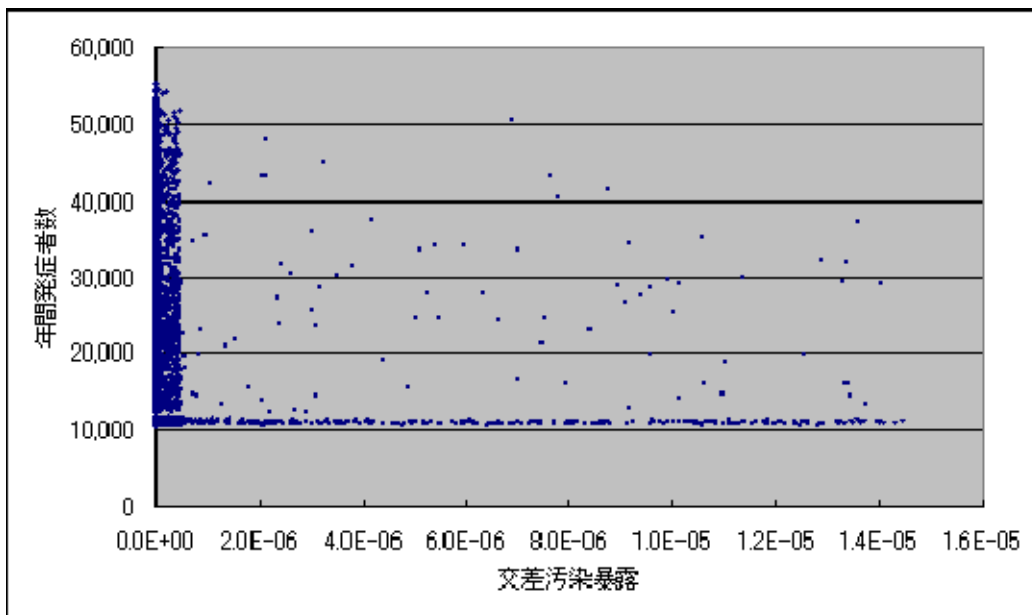


図 2.9 年間発症者数と交差汚染暴露リスクとの関係

年間発症者数/C75 の回帰感度

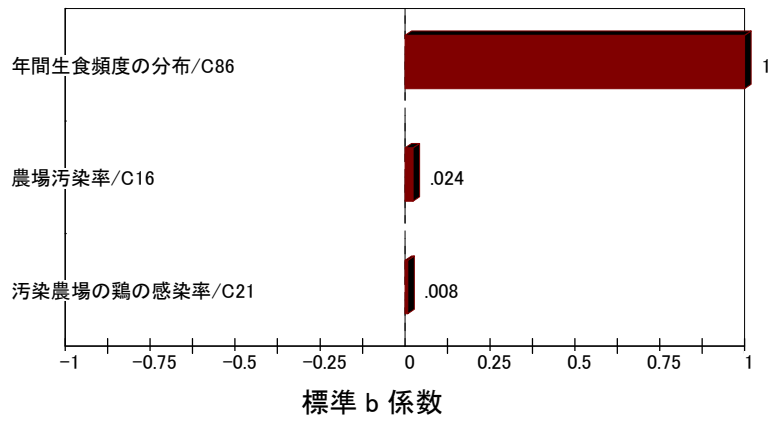


図 2.10 年間発症者数のトルネード図（回帰感度）

年間発症者数/C75 の相関

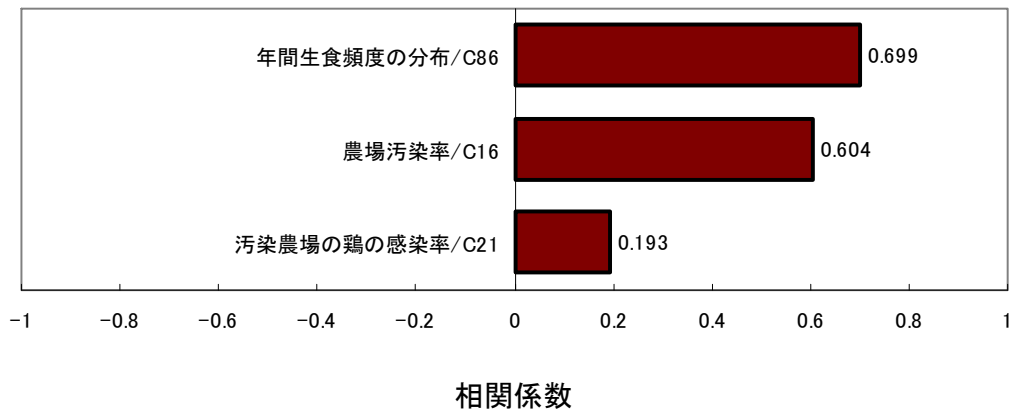


図 2.11 年間発症者数のトルネード図（相関感度）

2) 喫食暴露リスク

① 喫食暴露リスクの分布

喫食暴露リスク（喫食1回あたりの喫食経路から暴露確率）の分布は図 2.4 に示すとおりである。最小値 1.15%、最大値 6.25%、平均 1.57%、最頻値 1.21%である。

分布形は最頻値である 1.21%を中心に極めて高い集中が見られるが、図 2.5 に示すとおり、1.6%付近にも小さなピークがあり、分布は二峰性になっている。

喫食暴露リスクは年間発症者を規定する卓越した要因であることから、この分布の形状は年間発症者数の分布に酷似したものとなっている。

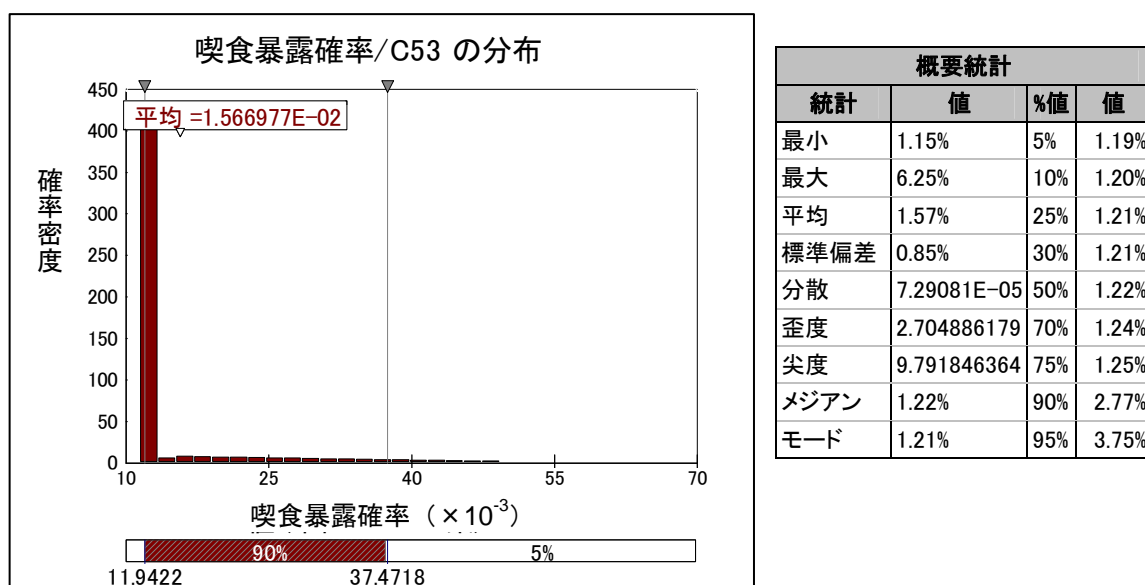


図 2.12 喫食暴露リスクの分布

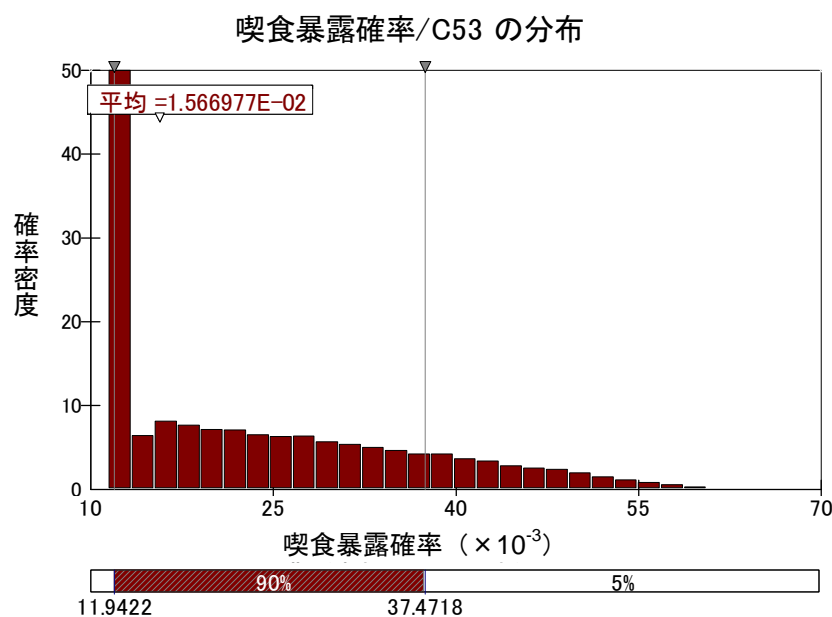


図 2.13 喫食暴露リスクの分布（Y軸のスケールを拡大）

② 感度分析

喫食暴露リスクは生食暴露リスクと加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクから構成される。喫食暴露リスクと生食暴露リスクおよび加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクとの関係を散布図に示すと図 2.14 および図 2.15 のとおりとなる。

図 2.14 からは、喫食暴露リスクと生食暴露リスクがほぼ完全相関の関係にあることが分かる。一方、図 2.15 からは、喫食暴露リスクと加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクとの間に相関関係がほとんどないことが分かる^{xvii}。これは、生食暴露リスクが加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクに比べて喫食暴露リスクを規定する要因として卓越していることを意味する。

ただし、喫食暴露リスクが 0.01 よりも少し大きい領域において、加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクの一部のデータが喫食暴露リスクとほぼ完全相関の関係にあることが分かる。これは、生食暴露リスクがゼロのときに、加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクが喫食暴露リスクを規定する要因になっていることを意味する。この点は、図 2.14 において、生食暴露リスクがゼロのときに (Y 軸上)、喫食暴露リスクが 0.01 よりも少し大きい値で多くのデータがプロットされていることから理解される。しかしながら、その場合の喫食暴露リスクと加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクとの回帰直線の傾きは非常に小さく、また、加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクがとり得る値の範囲も小さいことから、加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクは喫食暴露リスクに限られた影響しか及ぼさないことが分かる。

次に、喫食暴露リスクの感度分析結果をみると、回帰感度では年間生食頻度の分布が 1 であり、次いで農場汚染率 0.024、汚染農場の鶏の感染率 0.0008 となっており (図 2.16)、相関感度では、年間生食頻度の分布が 0.699、農場汚染率が 0.604、汚染農場の鶏の感染率が 0.193 となっている (図 2.17)。これは、年間発症者数の回帰感度および相関感度と全く同じ結果となっている。

^{xvii} むしろ見かけ上は逆相関の関係にある。

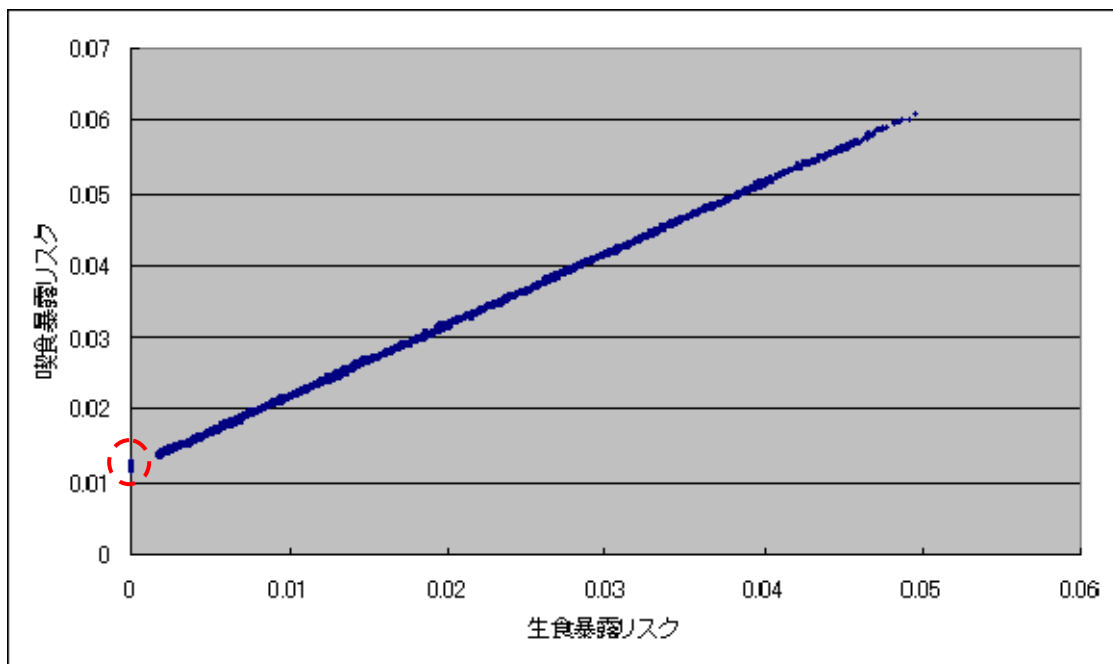


図 2.14 喫食暴露リスクと生食暴露リスクとの関係

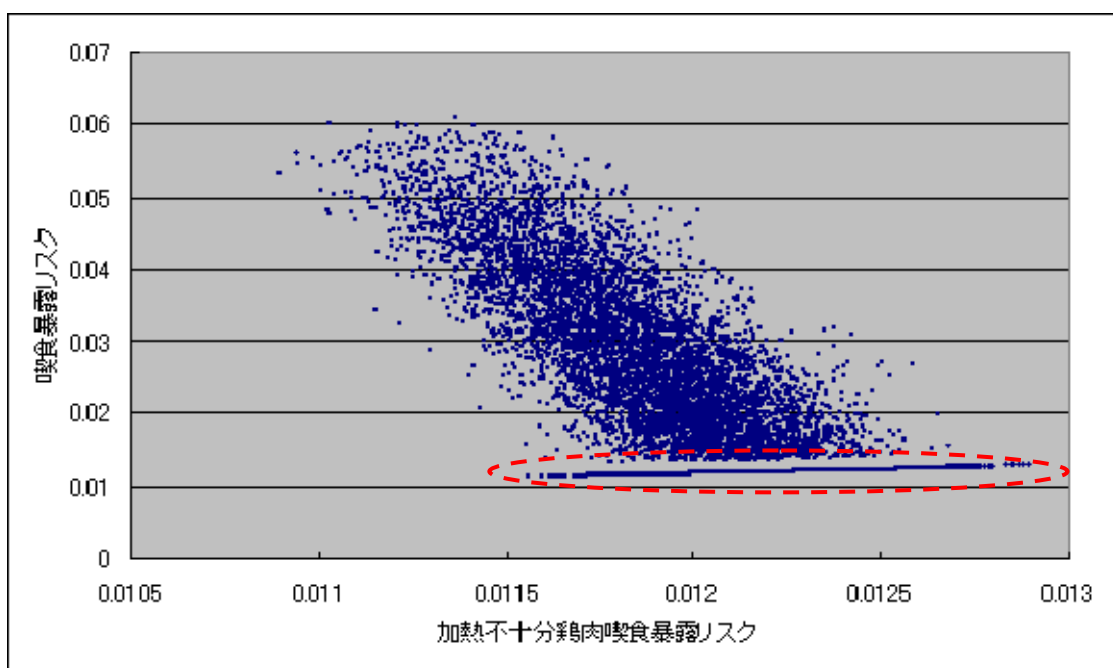


図 2.15 喫食暴露リスクと加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクとの関係

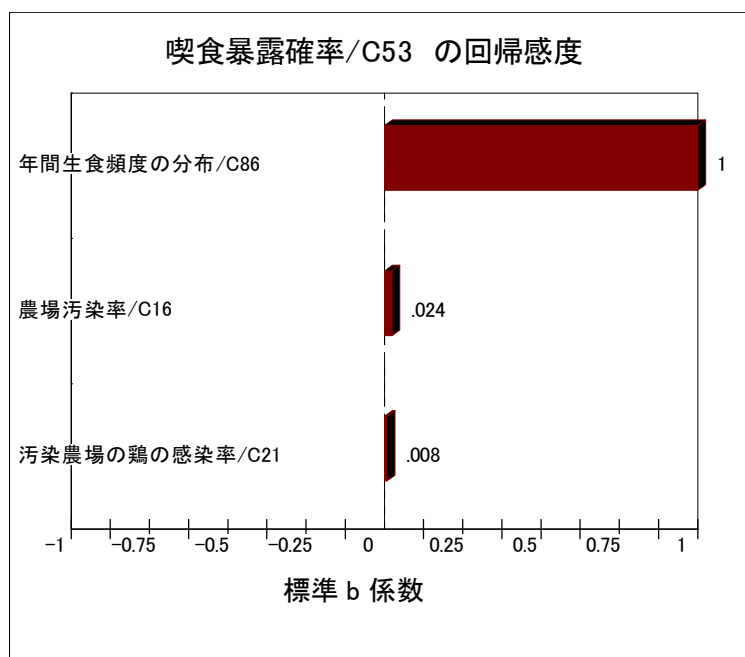


図 2.16 喫食暴露リスクのトルネード図（回帰感度）

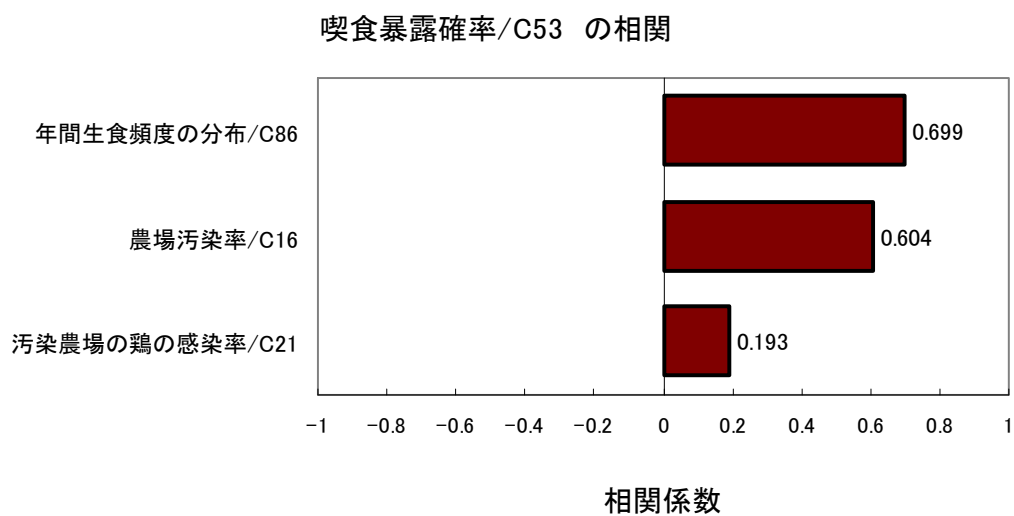


図 2.17 喫食暴露リスクのトルネード図（相関感度）

3) 生食暴露リスク

生食暴露リスクの分布は図 2.18 に示すとおりである。最小値 0%、最大値 5.11%、平均 0.35%、最頻値 0% である。図 2.19 から分かるとおり、年間生食頻度のモデルにおいて生食する者の割合を 20% としたため、この分布は 80% 値までの確率はゼロであり、80% 値以降は生食頻度の分布（三角分布）にほぼ従う単峰性の複合分布となっている。

農場段階での汚染・感染度合いも生食暴露リスクに影響を与えるはずであるが、生食頻度が生食暴露リスクを規定する要因として圧倒的に卓越しているため、その影響は僅少である（感度分析を行っても、生食に係る分布以外で有意な入力項目は現れない）。

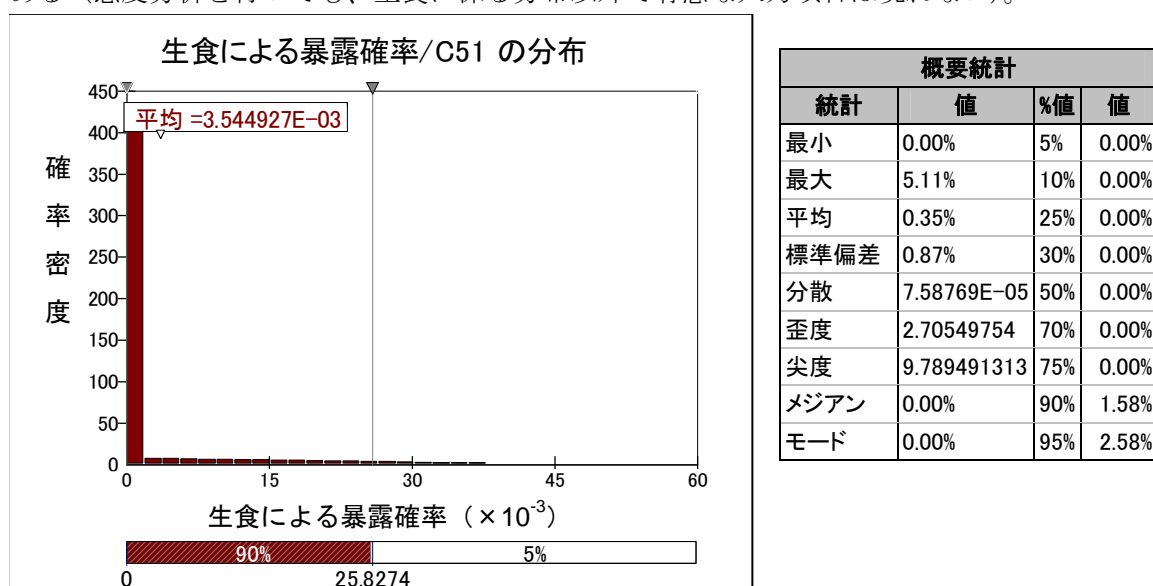


図 2.18 生食暴露リスク

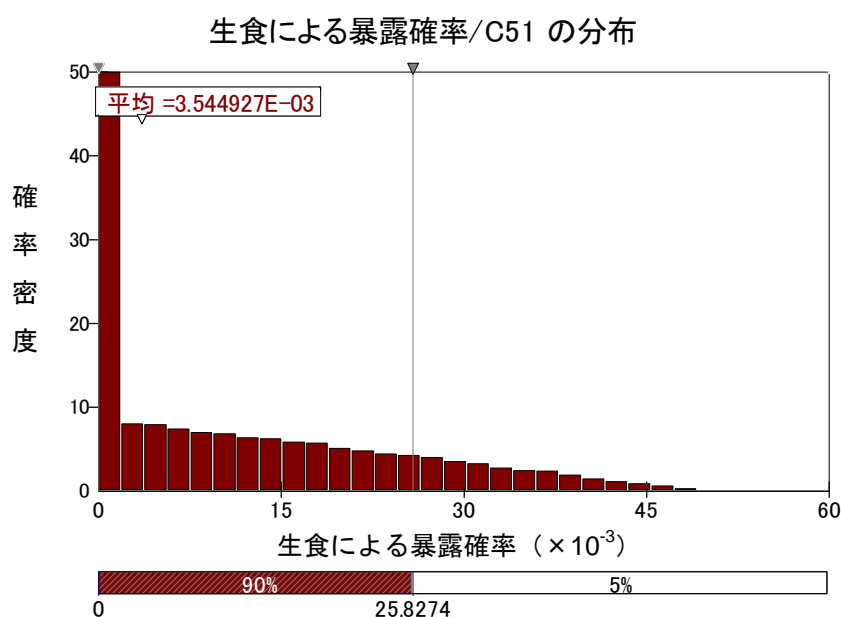


図 2.19 生食暴露リスクの分布（Y 軸のスケールを拡大）

4) 加熱不十分鶏肉喫食暴露リスク

① 加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクの分布

加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクの分布は図 2.18 に示すとおり、概ね釣鐘型であるが、左側に長い裾を有する（歪度が負）単峰性の分布である。最小値 1.09%、最大値 1.29%、平均 1.21%、最頻値 1.21% である。生食暴露リスクの範囲が 5.11%ポイントである一方で、加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクの範囲は 0.20%ポイントとかなり小さい。

喫食暴露リスクが二峰性の分布になっているのは、それぞれ単峰性の生食暴露リスクと加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクの複合分布になっているためであると考えられる。

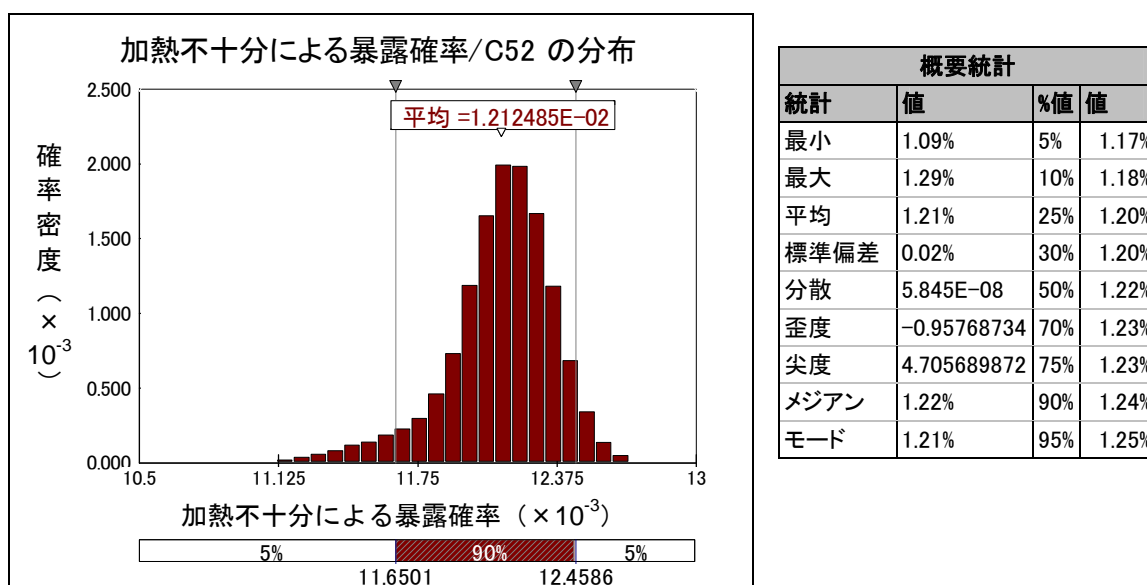


図 2.20 加熱不十分鶏肉喫食暴露リスク

② 感度分析

加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクの感度分析結果をみると、回帰感度では農場汚染率が 0.657 であり、次いで汚染農場の鶏の感染率 0.212、輸入鶏肉の汚染率 0.001 となっており（図 2.21）、農場段階での汚染・感染度合いが加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクに大きな影響を及ぼしていることが分かる。相関感度では、農場汚染率が 0.757 であり、次いで汚染農場の鶏の感染率が 0.24 となっており（図 2.22）、農場段階での汚染・感染度合いが加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクと強い関係を有していることが分かる。

加熱不十分による暴露確率/C52 の回帰感度

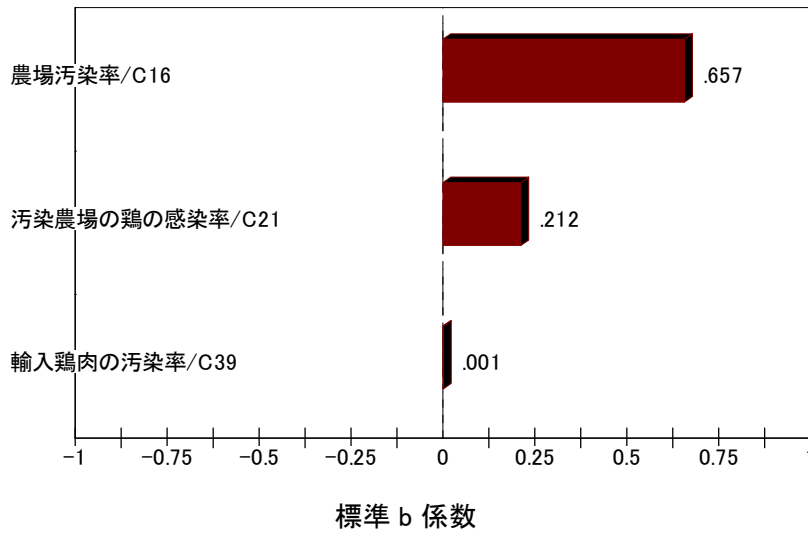


図 2.2 1 加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクのトルネード図（回帰感度）

加熱不十分による暴露確率/C52 の相関

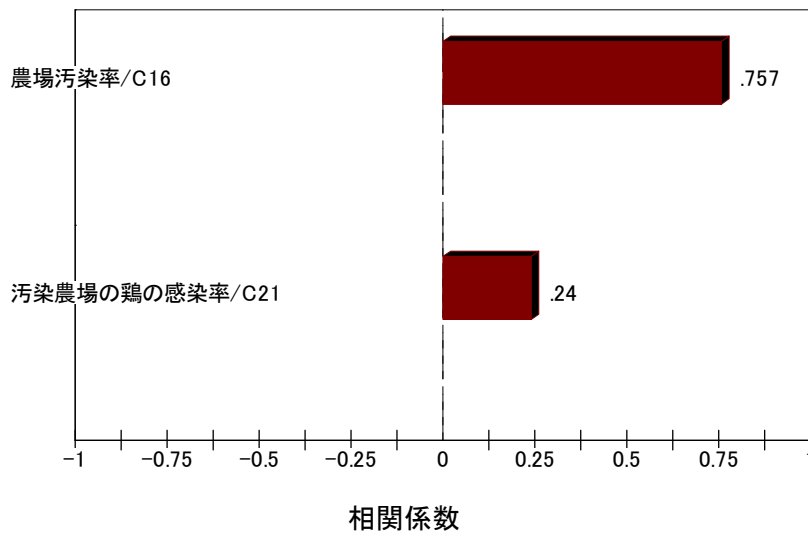


図 2.2 2 加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクのトルネード図（相関感度）

5) 交差汚染暴露リスク

① 交差汚染暴露リスクの分布

交差汚染暴露リスクの分布は図 2.23 に示すとおりである。最小値 0%、最大値 1.6E-03%、平均 1.0E-05%、最頻値 0%であり、極めて小さいリスクとなっている。

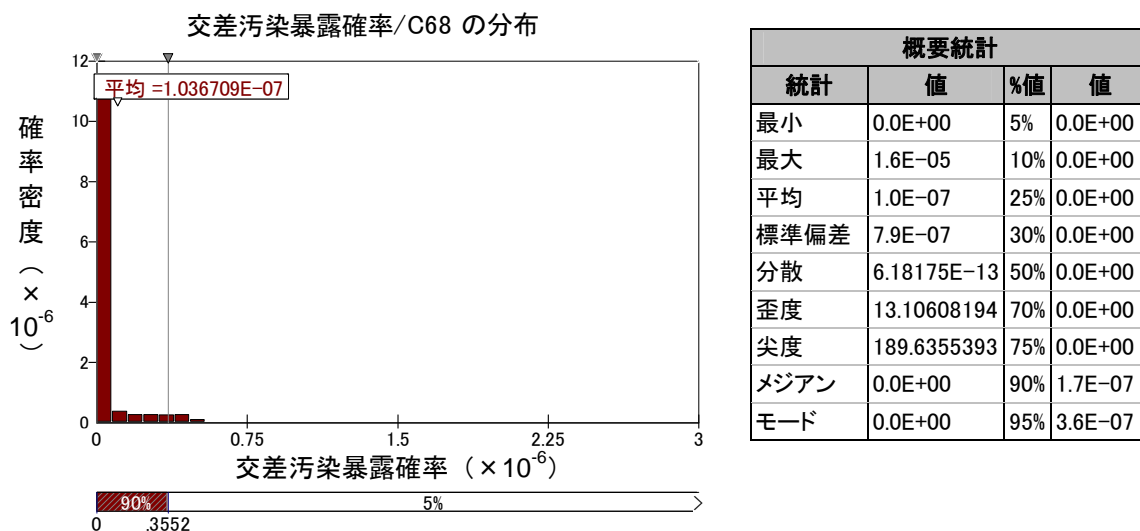


図 2.23 交差汚染暴露リスクの分布

② 感度分析

交差汚染暴露リスクの感度分析結果をみると、回帰感度では器具洗浄方法の種類による菌生残率が 0.551 であり、次いで器具洗浄習慣の種類 0.147、RTE と一緒に調理する割合 0.075、手洗い洗浄方法の種類による菌生残率 0.038、手洗い洗浄習慣の種類 0.027 となっており（図 2.24）、器具の洗浄関係が交差汚染暴露リスクに大きな影響を及ぼしていることが分かる。相関感度では、器具洗浄方法の種類による菌生残率が 0.505 であり、次いで器具洗浄習慣の種類 0.439、手洗い洗浄方法の種類による菌生残率 0.232、手洗い洗浄習慣の種類 0.119、RTE と一緒に調理する割合 0.033 となっており（図 2.25）、器具の洗浄関係が加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクと強い関係を有していることが分かる。

交差汚染暴露確率/C68 の回帰感度

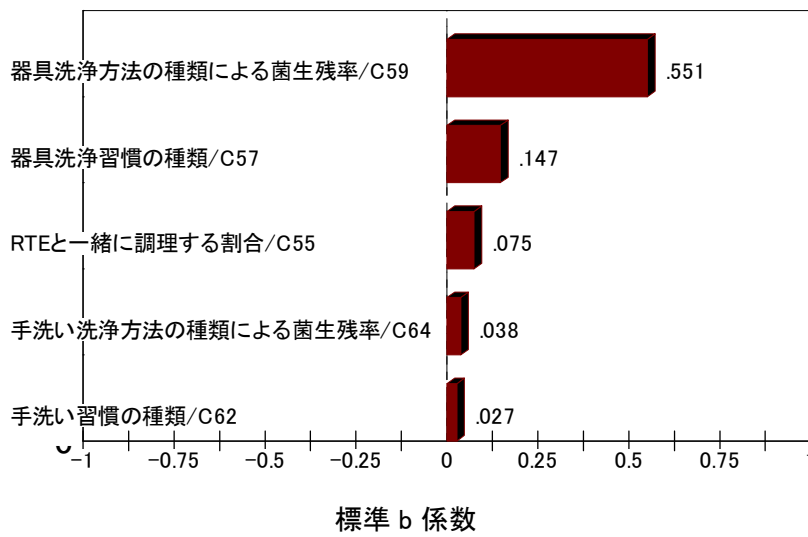


図 2.24 交差汚染暴露リスクのトルネード図（回帰感度）

交差汚染暴露確率/C68 の相関

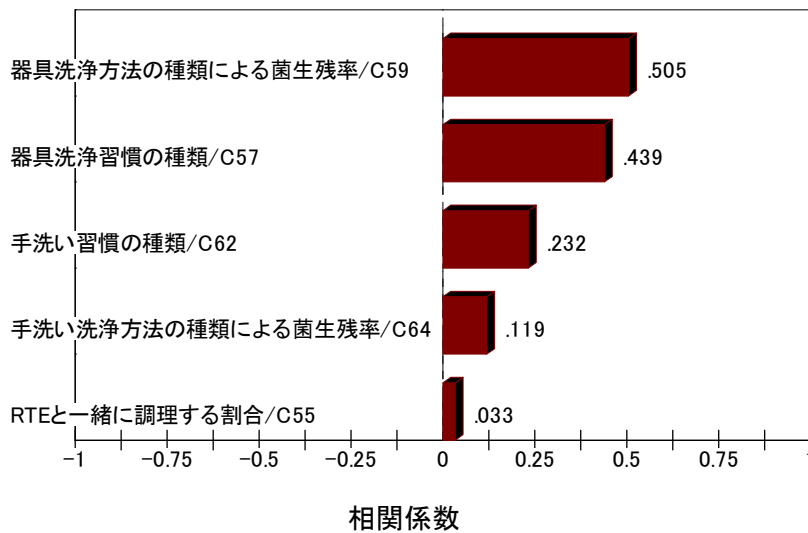


図 2.25 交差汚染暴露リスクのトルネード図（相関感度）

6) まとめ

カンピロバクターの食中毒リスクは、わが国独特の食習慣である鶏の生食が、生食暴露リスクおよび喫食暴露リスクを通じて、極めて支配的な要因になっていることが明らかになった^{xviii}。次いで、農場汚染率や汚染農場での鶏の感染率といった農場段階での汚染・感染の度合いを主な要因とする加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクが、喫食暴露リスクを通じて食中毒リスクに僅かな影響を及ぼしている。一方、交差汚染暴露リスクは食中毒リスクにほとんど影響を及ぼさない。

表 2.14 には、カンピロバクターの食中毒リスクとして、発症リスクに着目した場合の、経路別リスクの分布の代表値（最小値、最大値、平均値、最頻値）を整理する。

ここからは、発症リスクの代表値はほぼ喫食暴露リスクの代表値に一致していることから、交差汚染暴露リスクは発症リスクの代表値にほとんど影響をもたらしていないことが分かる。また、喫食暴露リスクは生食暴露リスクと加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクの和として求められるため、喫食暴露リスクの最小値 1.15%は加熱不十分リスクの最小値 1.09%の影響によるものである。喫食暴露リスクの最頻値も、生食リスクの最頻値が 0.00%となっているため、加熱不十分の最頻値が喫食暴露リスクの最頻値に一致する結果となっている。

表 2.14 カンピロバクターの食中毒リスク（発症リスク）まとめ

経路別リスク	最小値	最大値	平均値	最頻値
発症リスク	1.15%	6.25%	1.57%	1.20%
喫食暴露リスク	1.15%	6.25%	1.57%	1.21%
生食暴露リスク	0.00%	5.11%	0.35%	0.00%
加熱不十分鶏肉喫食暴露リスク	1.09%	1.29%	1.21%	1.21%
交差汚染暴露リスク	0.00%	1.6E-03%	1.0E-05%	0.00%

^{xviii} ただし、脚注^{xv}でも述べたとおり、生食頻度の分布の範囲は小さいため、回帰感度の結果からだけでは生食分布が年間発症者数に支配的な影響を有するとは言い切れない。従って、生食対策が有効なリスク管理措置になるとも言いきれない。

(2) 食中毒リスク対策の効果

1) 食中毒リスク対策の効果の把握の考え方と方法

図 2.1 に示したモデルの全体構造と表 2. 3 に示した想定される食中毒対策を図 2.2 6 および表 2.1 5 に再掲する。ここでは、これらの食中毒リスク対策を単独および複合的に講じることの効果について、(1) で計測したベースケースの食中毒リスク（発症リスク）がどれだけ削減されるかを定量的に把握する。

調理に係る食中毒対策は、直接的に発症リスクの削減に寄与する。ただし、交差汚染暴露リスクは食中毒リスクにほとんど影響を及ぼさないため、ここでは分析の対象としない。農場での管理（農場汚染率の削減）および食鳥処理場の区分（食鳥処理場における交差汚染の防止）は、喫食暴露リスク、特に加熱不十分鶏肉喫食暴露リスクの削減を通じて発症リスクの削減に寄与する。これらのうち、食鳥処理場の区分は他の効果との相乗効果を有すると考えられるため、両者を複合的に講じることの効果も把握する。

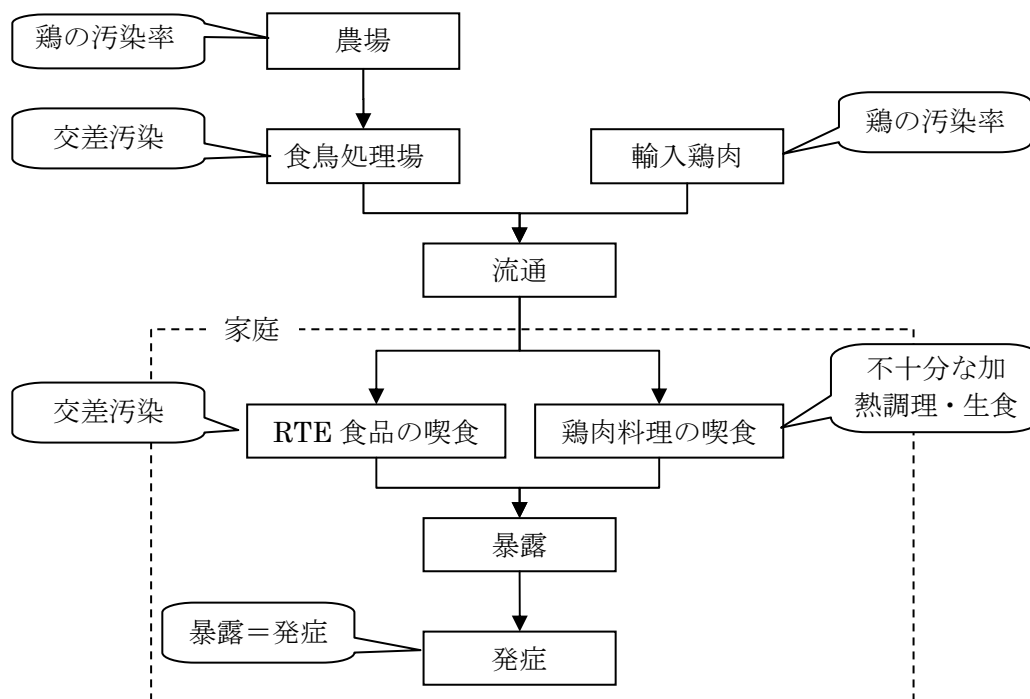


図 2.2 6 モデルの全体構造（再掲）

表 2.1 5 想定される食中毒対策（再掲）

食中毒対策	シナリオ
農場での管理	農場における衛生管理を見直すことで、汚染農場の割合の低減を図る。
食鳥処理場の区分	食鳥処理場において、汚染農場から出荷された鶏と非汚染農場から出荷された鶏を区分して処理することで、食鳥処理場における交差汚染の防止を図る。
調理	消費者の意識啓発・教育等により、家庭における調理・喫食方法の改善を図ることで、不十分な加熱調理、生食、RTE 食品の交差汚染の低減を図る。

各食中毒対策の効果は、2.2(2)で述べたとおり、以下の方法によって把握する。

食鳥処理場の区分の効果は、食鳥処理場での交差汚染率をゼロとすることで把握する。

調理に係る食中毒対策については、意識啓発・教育等によって、不十分な加熱調理や生食がどれだけ削減されるかは不明である。そこで、ベースケースにおける不十分な加熱調理や生食の割合を感度分析的に90%から10%まで20%刻みで低減させて、その効果を把握する。

農場での管理の効果については、農場汚染率低減の具体的な対策は必ずしも明確ではなく、当然、農場汚染率の低減効果も不明である。そこで、ベースケースにおける農場汚染率を感度分析的に90%から10%まで20%刻みで低減させて、その効果を把握する。

なお、各食中毒対策の効果は、各食中毒対策の効果として得られた食中毒リスク（発症リスク）の平均値がベースケースでの平均値からどれだけ低減するかによって把握する。

2) 食中毒対策の効果

1)の考え方、方法によって把握した期待値ベースの各食中毒対策の効果を表2.16および図2.27に示す。ここでは、各食中毒対策の効果は、対象とする指標（例えば、農場での管理における農場汚染率）がどれだけ低減されると、食中毒リスクがどれだけ低減されるか（各指標の低減率）という観点から捉えている。ただし、これが敏感な食中毒対策が必ずしも効率的であるとはいえない。同じ低減率を達成するために必要となるコストが各食中毒対策で異なるが、ここではこれを考慮していないためである。また、教育等の効果のように、食中毒対策への効果が不確実なものもあるためである。

① 食鳥処理区分を行わず食鳥処理場で交差汚染がある場合

農場汚染率の低減効果は、農場汚染率が10%低減するごとに食中毒リスクが1.83%ずつ低減し、低減率50%で90.8%、90%で83.5%しか低減しない。これは、農場汚染率が低下しても、食鳥処理場において交差汚染が発生してしまうためであると考えられる。

不十分な加熱調理の割合の低減効果は、不十分な加熱調理の割合が10%低減するごとに食中毒リスクが7.73%ずつ低減し、低減率50%で61.4%、90%で30.4%にまで低減する。

生食の割合の低減効果^{xix}は、生食の割合が10%低減するごとに食中毒リスクが2.2%ずつ低減し、低減率50%で88.9%、90%で80.0%しか低減しない。喫食曝露等での感度分析において、生食は他より卓越した影響を有していたが、そもそも生食頻度がかなり低いため、結果として食中毒リスクの低減効果はさほど大きくはない。

② 食鳥処理区分を行い食鳥処理場で交差汚染がない場合

食鳥処理区分を行い食鳥処理場の交差汚染がなくなると、これだけで食中毒リスクは37.3%にまで低減する。

農場汚染率の低減効果は、農場汚染率が10%低減するごとに食中毒リスクが3.73%ずつ

^{xix} 生食する場合の頻度分布はTriang (1/365, 1/365, 30/365) のままとし、当初20%として設定していた生食する消費者の割合を低減させることを想定している。

低減し、低減率 50%で 18.7%、90%で 3.7%まで低減する。

不十分な加熱調理の割合の低減効果は、不十分な加熱調理の割合が 10%低減するごとに食中毒リスクが 1.77%ずつ低減し、低減率 50%で 22.9%、90%で 11.4%にまで低減する。

生食の割合の低減効果は、生食の割合が 10%低減するごとに食中毒リスクが 0.83%ずつ低減し、低減率 50%で 33.1%、90%で 29.8%しか低減しない。

表 2.16 食中毒対策の効果

各食中毒対策における対象指標の低減率	食鳥処理場交差汚染あり [49.2%]			食鳥処理交差汚染なし [0%]		
	農場汚染率 低減 [39.3%]	不十分な加熱 割合低減 [2%]	生食割合 低減 [20%]	農場汚染率 低減 [39.3%]	不十分な加熱 割合低減 [2%]	生食割合 低減 [20%]
100%	100.0%	100.0%	100.0%	37.3%	37.3%	37.3%
90%	98.2%	92.3%	97.8%	33.6%	34.4%	36.5%
70%	94.5%	76.8%	93.3%	26.1%	28.6%	34.8%
50%	90.8%	61.4%	88.9%	18.7%	22.9%	33.1%
30%	87.1%	45.9%	84.4%	11.2%	17.1%	31.5%
10%	83.5%	30.4%	80.0%	3.7%	11.4%	29.8%

※括弧内の数値は各対象指標のベースケース値を示す。

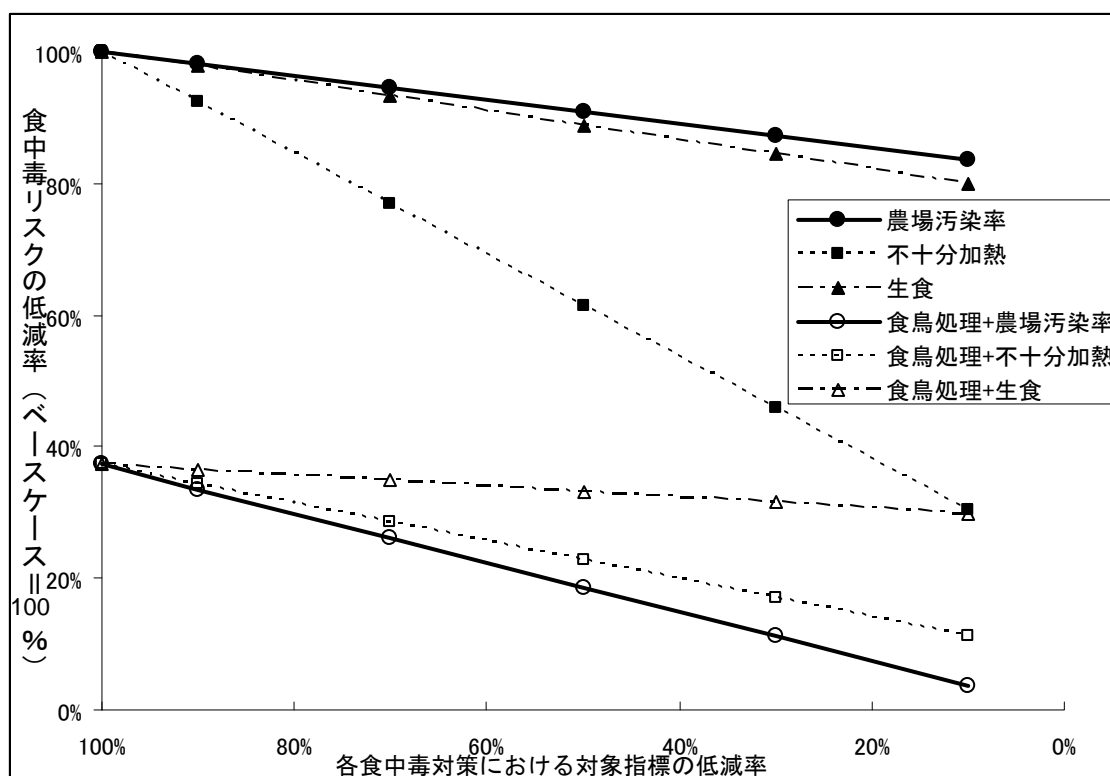


図 2.27 食中毒対策の効果

2. 5 考察

最も有効な食中毒対策は食鳥処理場の区分である。これが行われない場合には、教育等による不十分な加熱調理の割合を低減させる措置が最も有効になる。農場汚染率の低減措置は食鳥処理場における交差汚染によって効果の一部が相殺されるため、有効性は低い。ただし、食鳥処理場の区分が行われるならば、農場汚染率の低減措置は最も有効になる。すなわち、農場汚染率の低減措置は食鳥処理場での交差汚染が回避されてはじめてその効果を十分に発揮し得るといえる。

3. 今後の課題

(1) 汚染濃度と Dose-Response

カンピロバクターについては Dose-Response を得ることが困難であるため、本分担研究においては、少数菌でも発症するというカンピロバクターの特性に基づいて、カンピロバクターを 1 個でも摂取すれば発症するものと仮定した。この仮定により、汚染濃度を考慮することなく、鶏の感染率や鶏肉の汚染率のみでモデルを記述することができた。しかし、現実にはカンピロバクターを摂取しても発症しない場合も多く、既往モデルでは二項ベータモデル等の分布を用いて Dose-Response をモデル化しているものもある。従って、こうしたモデルの構築方針が、発症リスクや年間発症回数、年間発症者数を過大評価することとなった大きな要因の一つになっているものと考えられる。

そこで、今後、既往の疫学データや既往研究のモデルを参考に Dose-Response を適切にモデル化するとともに、汚染率だけでなく汚染濃度も適切に考慮したモデルを構築していく必要がある。

ただし、疫学データとして食中毒統計等の統計データを用いる場合、カンピロバクター食中毒に罹患した者が、必ずしも医療機関で受診するとは限らない。また、医療機関で受診しても症状のみに基づく診断が行われ、必ずしもその原因がカンピロバクター食中毒であると特定されるわけではない。カンピロバクター食中毒として原因が特定されるためには、医療機関において検便が行われ、これが然るべき試験研究機関に送られ確定診断に付される場合のみである。食中毒統計はこのように確定診断が行われ、保健所に届出があったものしか捕捉されていない点に留意する必要がある。従って、適切な Dose-Response を得るためには、統計では捕捉されない潜在的なカンピロバクター食中毒患者の数を適切に推定する必要がある⁷。

(2) 免疫機構

カンピロバクター食中毒には免疫機構が機能するが、本分担研究においては、これを無視している。これが発症リスクや年間発症回数、年間発症者数を過大評価することとなった大きな要因の一つになっているものと考えられる。

今後、Dose-response をモデル化する際には、免疫機構についても考慮する必要がある。

(3) 家庭での調理における交差汚染暴露リスク

交差汚染暴露リスクについては、山本昭夫の分担研究において既往のモデル^{xx}を丁寧にレビューし、その結果を反映したモデル化が行われており、本分担研究における交差汚染暴露リスクは山本昭夫の分担研究に負うところが大きい。本分担研究における分析からは、交差汚染暴露リスクがほとんど食中毒リスクに影響を及ぼさないとの結果が得られた。し

^{xx} オランダの Kusumaningrum(2004)、Mylius(2007)、ベルギーの Uyttendaele(2006)。詳細は山本昭夫の分担研究を参照のこと。

かし、既往の分析においては、CFIA/USDA(1999)など、交差汚染暴露リスクが食中毒リスクの支配的要因とされているものもある。CFIA/USDA(1999)においては本分担研究とは異なる交差汚染経路を想定しているものの、これだけ大きな結論の差を考慮すると、本分担研究では交差汚染暴露リスクは過小評価されている可能性がある。

交差汚染暴露リスクのモデル化においては、統計から得られない鶏肉の喫食実態に係るデータが必要である。本分担研究においては、そうしたデータを平成18年度の食品安全委員会の調査事業におけるアンケート調査の結果に求めている。しかし、そこではモデル構築に必要なデータを全て得ることはできず、一部の項目には根拠が不十分な仮定の値を与えざるを得なかった。これが交差汚染暴露リスクが過小に評価されている大きな要因の一つであると考えられる。

一方、平成19年度においては食品安全委員会の調査事業において鶏肉の喫食・取扱い実態に関するアンケート調査が行われることになっている。

今後、平成19年度のアンケート調査によって得られた根拠あるデータを用いて、交差汚染暴露リスクをより精緻に求め、分析を進めていく必要がある。

(4) 調理場での調理における交差汚染暴露リスク

平成19年度においては食品安全委員会の調査事業において鶏肉の喫食・取扱い実態に関するアンケート調査が行われることになっている。ここでは、家庭での調理だけでなく、食品製造施設や食肉販売店、飲食店での鶏肉の取扱い実態についても調査が行われることになっている。

今後、平成19年度のアンケート調査の結果を用いて、食品製造施設や食肉販売店、飲食店での交差汚染リスクのモデル化および分析を進めていく必要がある。

(5) 汚染農場と非汚染農場の区分の実務的可能性

本分担研究においては、食鳥処理場の区分が最も有効な食中毒対策であるとの結果が得られた。具体的な食鳥処理場の区分形態としては、非汚染農場と汚染農場の処理時間を分離することを想定している。これについては、食鳥処理場への視察・ヒアリング調査の結果、理論的には可能との結論が得られているが、実務的に非汚染農場と汚染農場をどのように認定し区分するのか（プロトコルなど）は検討していない。

今後、本分担研究において想定した非汚染農場と汚染農場の処理時間の分離という食中毒対策が実務的に可能であるか否かを検証していく必要がある。

参考資料 1

農林水産省「平成 18 年度動物由来感染症調査成績」

カンピロバクター(採択都道府県数:23)

(1)調査方法

調査は、肉用鶏について実施することとし、細菌分離・同定による。

ア 検査対象：肉用鶏

イ 検査時期：通年

ウ 検査材料：糞便（クロアカスワブ）

エ 検査方法：細菌分離・同定（PCR・生化学検査等）

(2)調査成績

調査の結果、農場数ベースで30%強でカンピロバクターが分離され、羽数ベースで20%強が保菌していたが、その大部分は *C.jejuni* であった。また、初生ひなからは分離されず、育成鶏・種鶏の保菌率が高かったこと踏まえれば、農場段階における汚染が示唆されることから、従来からの指導である鶏舎等の定期的な清掃・消毒、糞便の堆肥化等の適切な処理、手洗いの励行等が重要と考えられる。

【農場数ベース】

対象	検査農場数	分離農場数	陽性率 (%)
種鶏	21	7	33.3
育成鶏	331	130	39.3
初生ひな	23	0	0.0
計	375	137	36.5

【羽数ベース】

対 象	検査羽数	分離羽数		陽性率 (%)
種鶏	201	<i>C.jejuni</i>	25	12.4
		<i>C.coli</i>	7	3.5
		その他	0	0.0
		合計	32	15.9
育成鶏	3,683	<i>C.jejuni</i>	738	20.0
		<i>C.coli</i>	114	3.1
		その他	13	0.4
		合計	865	23.5
初生ひな	200	<i>C.jejuni</i>	0	0.0
		<i>C.coli</i>	0	0.0
		その他	0	0.0
		合計	0	0.0
計	4,084	<i>C.jejuni</i>	763	18.7
		<i>C.coli</i>	121	3.0
		その他	13	0.3
		合計	897	22.0

参考資料2

リスク評価モデル

	A	B	C	D	E
1	◆平成19年度 食品健康影響評価研究事業				
2	「定量的リスク評価に応用可能な手法の探索、分析及び開発に関する研究」				
3	～カンピロバクターによる生鶏肉の食中毒リスク評価モデル～				
4					
5	凡例:				
6	文献等の情報から得られたデータ:				
7	仮定で設定しているデータ:				
8	確率によって推定しているデータ:				
9	四則演算によって求めているデータ:				
10	@Riskの出力に設定している項目				
11					
12	農場段階				
13	全農場数			2,374	農場
14	標本農場数			331	農場
15	標本汚染農場数			130	農場
16	農場汚染率			39.3%	
17	汚染農場数	r		934	農場
18					
19	一農場当たり検査羽数			11.1	羽
20	汚染農場における検査羽数			1,446	羽
21	汚染農場の鶏の感染率	pcf		58.9%	
22					
23	国内年間出荷鶏数	Ndom		471,645,984	羽
24	汚染農場からの年間出荷鶏数	Ncf		185,542,414	羽
25	汚染農場からの感染鶏の年間出荷数			109,263,496	羽
26	非感染鶏数			362,382,488	羽
27	農場段階での鶏の感染率	pf		23.2%	
28					
29	食鳥処理				
30	食鳥処理前の鶏肉汚染率	pbp		23.2%	
31	食鳥処理後の鶏肉汚染率	pap		61.0%	
32	交差汚染率	ppcc		49.2%	
33				49.2%	
34	汚染される非感染鶏肉の数			178,333,700	羽
35	汚染鶏数			287,597,196	羽
36					
37					
38	流通段階				
39	輸入鶏肉の汚染率	pimp		15.8%	
40	輸入鶏肉数	Nimp		123,667	羽
41	流通鶏肉量	Ndist		471,769,651	羽
42	流通鶏肉の汚染率(data)	pdist		61.0%	
43					
44	流通鶏肉の汚染率	pdist'		61.0%	
45					
46	調理・喫食				
47	(i)鶏肉の喫食を通じた暴露				
48	生食の割合	praw		0.00%	
49	加熱調理			100.00%	
50	加熱不十分の割合	pinsh		2.00%	
51	生食による暴露確率			0.00%	
52	加熱不十分による暴露確率			1.22%	
53	喫食暴露確率	Econs		1.22%	
54	(ii)交差汚染を通じた暴露				
55	RTEと一緒に調理する割合	prte		50.00%	
56	交差汚染率(鶏肉→器具)			1.25%	
57	器具洗浄習慣の種類			0.00%	
58	器具洗浄習慣の汚染機会評価			100.00%	
59	器具洗浄方法の種類による菌生残率			3.47%	
60	交差汚染率(器具→RTE)			34.30%	
61	交差汚染率(鶏肉→手)			4.15%	
62	手洗い習慣の種類			0.00%	
63	手洗い習慣の汚染機会評価			100.00%	
64	手洗い洗浄方法の種類による菌生残率			3.47%	
65	交差汚染率(手→RTE)			2.07%	
66	交差汚染で移行する菌数	ncamp*Pccc		0.000	
67	一食当たり鶏肉喫食量(羽数)	Cons		0.00563	
68	交差汚染暴露確率	Ecc		0.00000%	
69					
70	結論				
71	発症リスク	pipm		1.22%	/回
72	年間鶏肉料理喫食回数	M		75.67	回/年
73	年間発症回数	pipy		0.92	回/年
74	人口			12,000	万人
75	年間発症者数			11,072	万人/年
76					
77					
78	(参考)生食頻度のモデル化				
79	生食しない			80%	
80	生食する			20%	
81	最小値(年1回:1/365)			0.002739726	
82	最確値(年1回:1/365)			0.002739726	
83	最大値(年30回)			0.082191781	
84	生食なしの頻度			0	
85	生食する場合の頻度分布			0.029223744	
86	年間生食頻度の分布	praw		0.00	
87					

データシート

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3	1. 全農場数	2374						
4								
5	出典: H17農林業センサス							
6	留意点: プロイラー年間出荷羽数1,000羽以上の農業経営体							
7								
8	2. 農場汚染率							
9			検査数	分離数				
10		農場	331	130				
11		羽数	3,683	852				
12								
13	出典: 平成18年度動物由来感染症調査成績(農林水産省)							
14	留意点: 育成鶏についての検査・分離数							
15								
16	3. 国内年間出荷鶏数							
17		471,645,984						
18								
19	出典: H17農林業センサス							
20	留意点: プロイラー年間出荷羽数1,000羽以上の農業経営体							
21								
22	4. 輸入鶏肉の汚染率: 参考資料2参照							
23								
24	5. 輸入鶏肉							
25		371						
26								
27	出典: 2006農林水産物輸出入概況							
28								
29								
30	(参考) 大ピナ1羽あたり重量(食鳥処理場ヒアリング)							
31		3						
32								
33								
34	6. 国内鶏肉の汚染率: 鈴木(2008)に基づき設定							
35								
36	7. 加熱不十分の割合							
37								
38								
39								
40	8. 交差汚染で移行する菌数							
41	出典: H18国内における喫食実態調査(食品安全委員会)							
42								
43								
44	(1) 手洗いの習慣							
45								
46		手洗いの習慣	人数	割合	菌の生残率			
47		1good	71227076.2	87.5%	0			
48		2bad	10217815.3	12.5%	1			
49	留意点:							
50	Q2=2 or 5の時「1good」、それ以外を「2bad」							
51	Q2の不詳を除く、H17国勢調査人口(日本人)で性・年齢別に拡大推計							
52								
53	(2) 手洗いの方法							
54								
55		手洗いの方法	人数	割合	菌の生残率			
56		毒)	40971987.8	50.4%	0			
57		2better(水洗)	40156751.8	49.4%	0.005%			
58		3bad(洗わない)	208076.277	0.3%	1			
59	留意点:							
60	Q3=2 or 3 or 4の時「1good」、Q3=1の時「2better」、それ以外を「3bad」							
61	Q3の不詳を除く、H17国勢調査人口(日本人)で性・年齢別に拡大推計							
62								
63	(3) 器具洗浄の習慣							
64								
65		器具洗浄習慣	人数	割合	菌の生残率			
66		1good	36229421.2	58.5%	0			
67		2bad	25726734.7	41.5%	1			
68	留意点:							
69	Q4=1 or (Q4=2 and Q5=2)の時「1good」、それ以外を「2bad」							
70	Q4,Q5のいずれかが不詳の場合を除く、H17国勢調査人口(日本人)で性・年齢別に拡大推計							
71								
72	(4) 器具洗浄の方法							
73								
74		器具洗浄方法	人数	割合	菌の生残率			
75		毒)	40361932.8	65.1%	0			
76		2better(水洗)	20299989	32.8%	0.0347			
77		3bad(洗わない)	1294233.95	2.1%	1			
78	留意点:							
79	Q6=3 or 4 or 5の時「1good」、Q6=2の時「2better」、それ以外を「3bad」							
80	Q6の不詳を除く、H17国勢調査人口(日本人)で性・年齢別に拡大推計							
81								
82								
83	9. 交差汚染率							
84								
85		交差汚染プロセス	交差汚染率					
86		鶏肉→まな板	0.0125					
87		まな板→RTE	0.343					
88		鶏肉→手	0.0415					
89		手→RTE	0.0207					
90								
91								
92								
93	10. 年間喫食量							
94								
95		人数	喫食量	喫食数				
96		105943707	1.3072E+12	8017206562				
97	出典: H18国内における喫食実態調査(食品安全委員会)							
98	Q11-1×Q13+Q1-2×Q15で算出、H17国勢調査人口(日本人)で性・年齢別に拡大推計							
99								
100	(参考) 中ピナ1羽あたり重量(食鳥処理場)							
101		2						
102								
103								

【参考文献】

- ¹ Amir M.Fazil, Ruff Lowman, Norman Stern, and Anna M. Lammerding: “A quantitative risk assessment model for *C.jejuni* in fresh poultry”, December 16th, 1999
- ² 農林水産省 「平成 18 年度動物由来感染症調査成績」
- ³ 農林水産省 「平成 18 年食鳥流通統計調査」
(www.maff.go.jp/toukei/sokuhou/data/syokutyou-ryutsu2006/syokutyou-ryutsu2006.pdf)
- ⁴ David Vose: “Risk Analysis – A Quantitative Guide”, 2nd edition, Wiley, 2000 (邦訳：長谷川専・堤盛人「入門リスク分析」,勁草書房, 2003)
- ⁵ 平成 19 年度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『輸入食品における食中毒菌サーベイランス及びモニタリングシステム構築に関する研究』（主任研究者 山本茂貴）分担研究「日本、および諸外国の市販鶏肉のカンピロバクター汚染状況(文献調査)」 分担研究者 鈴木穂高, 2008
- ⁶ 財団法人国際医学情報センター『平成 18 年度食品安全確保総合調査事業「食品により媒介される微生物に関する食品健康影響評価に係る情報収集調査報告書」』平成 19 年 3 月
- ⁷ 平成 18 年度厚生労働科学研究費補助金 食品の安全安心確保推進研究事業課『食品衛生関連情報の効率的な活用に関する研究』（主任研究者 森川馨） 分担研究「宮城県における積極的食品由来感染症病原体サーベイランスならびに急性下痢症疾患の実被害数推定」 分担研究者 岩崎恵美子・春日文子・窪田邦宏, 2007