

## 研究成果報告書（研究要旨）

研究課題名	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
主任研究者名	所属： 国立医薬品食品衛生研究所 氏名： 春日 文子（研究課題番号 0506）

### ○研究要旨

食品安全のためのリスク評価を行うにあたり、ハザードの汚染率や汚染濃度、また流通経路や調理方法に関するデータを集めることは不可欠である。それらのデータが豊富にまた定量的データとして利用することができれば、より精度の高いリスク評価結果を得ることができる。しかし、リスク、すなわちどのくらい重い健康被害がどのくらいの確率で起きるかを推定するためには、ハザードの汚染実態や調理方法などのデータを揃えるだけでなく、それらのデータを適切に結びつけて、食べた人の健康被害を推計する計算作業が必要である。そのような作業のための研究と数学的技術が、残念ながらわが国ではあまり発達していない。

本研究では、平成17年度より3年間、食品の確率論的リスク評価手法のためにデータの数学的解析技術を向上させることを目的に、微生物データや流通データが数学的にはそれぞれどのような特徴を持っているか、また確率論的にはどのように解釈すればよいかについて分析し、応用可能な確率論的手法の開発を行ってきた。

そのために、まず海外の定量的リスク評価事例を詳細に分析し、データがどのくらいの確率で起きるものとして扱われているか、またそのためにどのような数学的手法が利用されているかを調査した。また、そのような数学的解析に利用できる統計ソフトウェアやシミュレーション・ソフトウェアにはどんな種類があり、それぞれどのような特徴と限界を持っているかを整理した。

これらの知見を元に、実際の食中毒を例にとり、模擬的な確率論的リスク評価を実施した。

アジの刺身の摂食に伴う腸炎ビブリオ感染の確率論的リスク評価では、日本人がアジの刺身を食べる場合、1万回から100万回に1回の確率で腸炎ビブリオによる胃腸炎を発症することが推定された。アジの輸送中に冷蔵流通の不備があると発症確率は1.5倍に、また刺身を作るために内臓を除去した後、水洗いしないでさくを取ると、発症確率は16倍になると計算された。

家庭で喫食された鶏肉によるカンピロバクター・ジェジュニ/コリの食中毒のリスク評価では、食鳥処理場において、カンピロバクターに汚染していない農場から出荷された鶏を先に処理し、その後で汚染している農場から出荷された鶏を処理する時間的区分を行うと、有効に食中毒患者が減らせることが明らかになった。次いで、消費者教育等により、不十分な加熱調理の割合を低減させる措置が有効であった。農場での衛生管理によって農場汚染率を下げる対策は、それだけでは有効性が低いものの、食鳥処理場での時間的区分と一緒に実行されると、最も有効な対策になること、すなわち、農場での衛生管理は、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こともわかった。

個別の汚染実態データを収集するだけでは、これらの推定結果を得ることができない。個々のデータを確率の概念を利用しながら定量的に関係づけ、生産から消費に至る連続した“リスク評価モデル”を組み立ててはじめて、最終的な推定値を計算することができ、対策案の効果を具体的に予測して示すことができる。そのためには、微生物学者や食品製造関係者の意見を十分に聞いた上で、実際には“計算チーム”が何人かで集まって議論しながら、リスク評価モデルの作業を行う。しかし定量的、特に確率論的リスク評価のための技術にはさらに発展が必要である。わが国においても、このような研究に携わる若手研究者が増えることが望まれる。

## 研究成果報告書（本体）

研究課題名	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 (研究期間：平成17年度～19年度)
主任研究者名	所属： 国立医薬品食品衛生研究所 氏名： 春日 文子 (研究課題番号 0506)

### 1. 研究の概要

食品中のハザードに関する定量的リスク評価にあたり、確率論的リスク評価手法の発達を促すためには、データの微生物学的あるいは化学的特性とともに、その数学的特性についてより深く理解し、適切な数学的解析方法を選択し適用する技術を開発することが求められる。しかし、わが国においては、リスク評価に必要なデータの収集や収集方法に関する議論は盛んになったものの、それらデータの数理解析技術の発達は遅れ、それに関する研究体制も未整備である。

本研究では、平成17年度より、食品の確率論的リスク評価のためにデータの数学的解析技術を向上させることを目的に、主として微生物学ハザードに関するリスク評価に使用される定量データの数理解析技術や適切な確率分布の選択に関して、(1)海外の定量的リスク評価事例を詳細に分析し、(2)数理解析に利用可能な統計ならびにシミュレーション・ソフトウェアの特性を比較分析し、さらに(3)実際のリスク評価事例の実践を通じ、応用可能な確率論的手法の開発を行ってきた。これらの研究により、確率論的リスク評価のためにデータの数学的解析手法に関する知的資産を蓄積し、将来の食品安全委員会による確率論的リスク評価に役立てることを目標とした。

以下、研究の概要と研究班員の分担を年次ごとに示す。

#### 【一年次：平成17年度】

以下の分担により、各分担研究を遂行した。

##### ①海外の定量的リスク評価事例の詳細分析

- ・クリプトスポリジウム感染のリスク評価に関する調査を行い、多様な統計手法について分析した。
- ・新たな確率論的手法として、マルコフ連鎖・モンテカルロ法（MCMC法）の分析・応用を試みた。  
(以上、分担研究者：筒井俊之、協力研究者：山本健久)
- ・米国FDAによる生牡蠣に由来する腸炎ビブリオのリスク評価について数学的方法に関する分析を行った。特に、最尤法を適用したDose-Responseモデル、ブートストラップ法とマクロを用いたその実現について分析した。  
(分担研究者：岩堀淳一郎、協力研究者：山本昭夫、鈴木穂高)

##### ②代表的なソフトウェアの機能、特性、数学的背景に関する詳細な比較検討

- ・食品微生物の定量的リスク評価に活用可能な統計パッケージを探索し、統計値の算出機能、プログラミング機能、グラフ作成機能等について比較分析した上で、リスク評価への応用について考察した。  
(分担研究者：澤田美樹子、協力研究者：本山恵子)
- ・食品微生物の定量的リスク評価に活用可能なシミュレーションソフトを探索し、評価の結果に影響を及ぼしうる乱数発生法とサンプリング法について比較した外、今後重点的に調査するソフトの絞り込みを行なった。
- ・感度分析の定義と役割について、現在の知見を整理した。

(以上、分担研究者：長谷川専、協力研究者：松下知己)

### ③Analytica の講習会の開催

既報の手法とは別の手法による解析が可能であるかどうかを検討し、既存のリスク評価モデル全体を再評価するために、新たなソフトウェアを基盤としてモデルの新・再構築を行なう準備として、カナダからコンサルタントである Gregory Paoli 氏(Decisionalysis Risk Consultants, Inc)を招聘して、シミュレーション・ソフトウェアである Analytica の講習会を開催した。(主任研究者：春日文子、協力研究者：鈴木穂高、講習会参加者：研究班員、協力研究者、他)

主任研究者である春日文子は、以上の研究を総括した。

### 【二年次：平成 18 年度】

二年次には、アジの刺身の摂食に伴う腸炎ビブリオ感染に関して開発した確率論的リスク評価モデルを材料に、本来モデル構築に用いたものとは別のシミュレーション・ソフトウェアへのモデルの適用による比較検討、新たに収集整理した文献データへの統計解析技術の応用、予測微生物学的増殖予測手法の開発、交叉汚染モデルの検討、用量反応分析の改良を行い、それぞれの過程において確率論的手法の開発と検討を行った。実際の作業は、以下のように分担した。

①@RISK 上で構築された元のモデルの Analytica への移行による、シミュレーション・ソフトウェアの使用方法に関する検討 (分担研究者：澤田美樹子、協力研究者：本山恵子)

同じ CPU、メモリ環境の場合、Analytica のほうが結果の表示が速かった。ただし、グラフの表示は@RISK のほうが速かった。@RISK はデータの管理、計算途中の結果(期待値)の把握が容易であり、Analytica は要素同士の影響関係をわかりやすく示すため、初めに@RISK でモデルを作成し、リスクコミュニケーションツールとしての Analytica に移行する、という使い方が推奨された。

②@RISK 上で構築されたモデルの改善を通じた確率論的手法の開発

②-1. 文献データの収集、整理 (協力研究者：鈴木穂高、分担研究者：長谷川専、協力研究者：松下知己、主任研究者：春日文子)

②-2. モデル構造の改良 (分担研究者：岩堀淳一郎、協力研究者：山本昭夫、研究班員全員)

②-3. 予測微生物学的増殖予測と手法の開発 (分担研究者：筒井俊之、協力研究者：山本健久)

②-4. 交叉汚染モデルの検討 (協力研究者：山本昭夫)

②-5. 用量反応曲線の検討 (分担研究者：岩堀淳一郎)

アジの切り身に腸炎ビブリオを接種した実験の文献に基づき、腸炎ビブリオ増殖関数の補正係数を決定した。島根県のデータに基づき、海水中の病原性腸炎ビブリオの割合については代表的な値についてリスクを計算することとした。文献データに従って市場使用海水の汚染分布を反映させることにより、運搬・貯蔵時に汚染水に晒された影響を取り入れることとした。調理過程における交叉汚染のモデル化の可能性を検討したが、新たに収集した文献データを詳細に分析した結果、必要なデータが足りないため、現時点で交叉汚染をモデル化することは困難であると判断された。USFDA の生カキに関するリスクアセスメントで使用された元データをもとに用量反応モデルのパラメーターの決定を行い、新たに求めた用量反応曲線を改良モデルに組み込んだ。

③これらに加え、食品安全委員会「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指針」の付属文書の執筆を行った (春日文子、岩堀淳一郎、長谷川専、鈴木穂高)。

④また、2006 年 4 月にドイツのキールで開催された、「微生物学的リスク評価結果の実践的リスク管理戦略作成への利用」に関する FAO/WHO 合同専門家会議の報告書を翻訳した。(春日文子)

### 【三年次：平成 19 年度】

最終年度には、過去 2 年間の研究実績を踏まえ、より実践的な確率論的モデルの作成を中心に研究を遂行し、以下の 2 つのリスク評価モデルを構築した。

#### ①アジ生食にともなう腸炎ビブリオ食中毒の定量的リスクアセスメントモデルの改良

昨年度同様、食中毒発生・管理シナリオとして以下の案を考え、すべて独立に選択するようにした。

1. 水揚げ時に、あるいは市場で魚全体を洗浄する
2. 市場で、あるいは輸送時に汚染された水を使用する
3. 輸送時に高温の時期がある
4. 調理時に内臓を除去した後腹腔を水洗してさくを取る

モデルの上での今年度の改良点は以下の各点である。

- a. 菌の初期密度、病原菌株の割合は固定値に倍数をかけて結果への影響を評価
- b. 調理時に魚の表面、エラ、内臓から刺身に移行する腸炎ビブリオ菌数を Poisson 分布により生成し、初期の病原菌の割合から 2 項分布により求めた病原菌数との比から移行後の病原菌の割合を算出
- c. Beta-Poisson 用量反応モデルにおいて平均摂取菌に対する近似式による方式に加え、摂取菌数に対する発症率を二項分布により与える方法を追加

得られた結果は以下の通りである。

- ・ ベストケースシナリオ（アジの刺身を摂食した場合の平均値として）  
摂食される病原性腸炎ビブリオの個数 9  
発症確率  $6 \times 10^{-6}$
- ・ ワorstケースシナリオ（アジの刺身を摂食した場合の平均値として）  
摂食される病原性腸炎ビブリオの個数 200  
発症確率  $1.2 \times 10^{-4}$
- ・ 想定される（悪い）オプションの効果（ベストケースと比較した発症確率の増加）

汚染水の使用	無視できる
陸揚げ時の水洗なし	1%
輸送中の高温	50%
調理中、内臓除去後に水洗なし	16 倍

（分担研究者：岩堀淳一郎、協力研究者：山本昭夫）

#### ②鶏肉によるカンピロバクター食中毒の定量的リスクアセスメントモデルの開発

家庭で喫食された鶏肉によるカンピロバクター・ジェジュニ/コリ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案の有効性を評価する Farm-To-Fork の確率論的モデルを構築することを目的とした。分析対象とした食中毒対策は、

1. 食鳥処理場の時間的区分、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
2. 農場での管理
3. 調理（鶏肉の食べ方、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、食鳥処理場の時間的区分であり、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。

- ・ 農場での衛生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。

モデル全体の枠組みは主任研究者：春日文子の基本骨格案に基づいて、分担研究者：長谷川専、協力研究者：松下知己、主任研究者：春日文子が検討し、研究班全員による議論を踏まえて構築した。鶏肉関係データ収集・整理は分担研究者：澤田美樹子、協力研究者：本山恵子が実施した。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・整理は協力研究者：鈴木穂高、松下知己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、研究班会議で検討した。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。モデルのサブシステムとして、農場段階でのカンピロバクター汚染率について、ブートストラップ法やベイズ推測を用いて推定するとともに、これらの手法の特性や相違点について検討した(分担研究者：筒井俊之、協力研究者：山本健久)。家庭での調理における交差汚染については、協力研究者：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。

### ③シミュレーションソフトの探索と分析

定量的リスク評価に利用可能な代表的なシミュレーションソフトウェアに搭載されている乱数生成法とサンプリング法を整理し、ソフトウェアごとの差異が定量リスク評価のアウトプットに差異を生じさせる可能性があるか否かを検討した。その結果、各シミュレーションソフトウェアには大きく特性が異なるさまざまな乱数生成法とサンプリング法が搭載されていることが分かった。ただし、サンプリング法としてラテンハイパーキューブ法を用いる限り、乱数生成法の差異によってアウトプットに実務的に問題となる大きな差異は生じないことが分かった。

(分担研究者：長谷川 専、協力研究者：松下知己、澤田美樹子、本山恵子)

## 2. 研究の成果

(1) 研究の成果と概要 (各年次の詳細報告書は、別途、冊子としても提出した)

食品中のハザードに関する定量的リスク評価にあたり、使用するデータの不確実性や変動性を扱うためには、確率論的なアプローチをとることが必要である。そのためには、データの数学的特性について、より深く理解し、適切な統計解析を行うことが求められる。食品のリスク評価に使用するデータに関し、微生物学的あるいは化学的特性と数学的特性をともに理解しつつ、適切な数学的解析方法を選択し適用する技術を開発することが、確率論的リスク評価手法の発達を促すものと考えられる。

本研究では、食品の確率論的リスク評価手法の発展のためにデータの数学的解析技術を向上させることを目的に、まず既存のリスク評価事例、特に **Exposure Assessment** と **Hazard Characterization** の中で、ハザードによる汚染率や汚染濃度、摂食量などのデータに対して適用されている数学的解析手法について探索、分析した。

### 【一年次：平成 17 年度】

#### ①データの数学的解析法の探索と分析

##### ①-1. クリプトスポリジウム感染症の定量的リスク評価事例に関する探索的研究

クリプトスポリジウム感染症については、感染源から感染（病原体に汚染した水源からの経口摂取）までの経路が比較的単純であることから、感染に至る各段階を確率論的に再現することによる定量的リスク評価が多く試みられている。こうした事例のうち、リスク評価で用いられている具体的な手法が詳細にわたって記載されている報告 6 例について、評価に用いられている確率的概念や統計学的手法等について探索的に分析した。これらの 6 例のうち 4 例はクリプトスポリジウム感染症に人が感染するリスクを定量的に評価したもの、2 例は評価に必要な病原体量と感染性との用量反応関係などのパラメータの値を推定したものであった。これらに用いられている手法等について分析したところ、モンテカルロ法をベースにしたシナリオツリーモデルが多く採用されていた。そのほか、ブートストラップ法、最尤推定法、階層ベイズ法等が用いられており、これらについて、モデル作成に用いるソフトウェア等のモデリング環境の視点も含めて評価・分析を進める必要があると考えられた。

##### ①-2. マルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC 法)に関する分析と応用

MCMC 法は、複数の未知のパラメータからなる事象について、観察されたデータとパラメータとの関係に基づきパラメータの適切なサンプルを得ることで、未知のパラメータの値を推定する手法である。(マルコフ連鎖でない) モンテカルロシミュレーションでは、観察されたデータに基づくパラメータの確率分布から、興味の対象となるアウトプットの値を得るのに対し、MCMC 法では、観察されたデータとモデルの構造の制約下で、条件を満たすパラメータの分布が得られる。MCMC 法について検討したところ、今後、リスク評価の分野でも応用可能と考えられた。同法によれば、感染実験の結果等によらずに疾病の診断に用いられる検査法の評価が可能であり、鳥インフルエンザのサーベイランスで得られたデータに適用したところ、寒天ゲル内沈降反応検査及び赤血球凝集抑制試験の感度・特異度を得ることができた (図 1)。

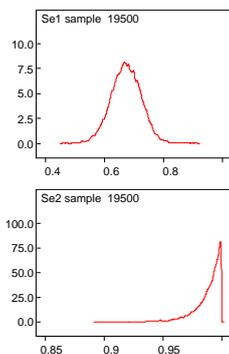


図 1. MCMC 法で得られた事後分布の例 (AGP の Se (上) 及び HI の Se (下))

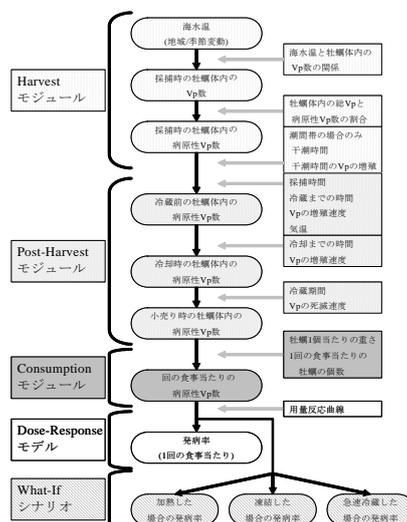


図 2. FDA モデルの概略

### ①-3. 米国 FDA の”Quantitative Risk Assessment on the Public Health Impact of Pathogenic *Vibrio parahaemolyticus* in Raw Oysters”の解析

上記リスク評価で用いられているモデルは、リスクアセスメントに使用される代表的なシミュレーション・ソフトウェアである@RISK 上で動作するようになっており、モデル自体もダウンロードが可能であることから、詳細な解析を行うには最適であると考えられた。モデルは全米を 6 地域・採捕方法に分け、それぞれ 4 つの季節において、計 24 通りのシミュレーションが可能となっている。モデルは Harvest、Post-Harvest、Consumption の 3 つのモジュール、Dose-Response モデル、および What-If シナリオから構成されている。Harvest から Consumption モジュールを通して、摂食時の総 *V. parahaemolyticus* 数、および病原性 *V. parahaemolyticus* 数を得ている。What-If シナリオでは、加熱した場合、冷凍した場合、そして採捕後すぐに冷蔵した場合について小売り時の病原性 *V. parahaemolyticus* 数、および発症率の推定を行っている (図 2)。

1 回のシミュレーションにおける iteration 回数は 10,000 回、1,000 回のシミュレーションの実施が設定されている。本モデルでは Excel のマクロ機能である Visual Basic for Applications (VBA) が用いられ、そのことによって各海域・季節によるモデル細部の違いの変更と、各種パラメータの uncertainty のモデルへの組込みを実現している。iteration では各シミュレーションにおける variability が表現されると考えられた。

Dose-response の扱いとしては、菌摂取実験での発症データを用いて、3 つの Dose-response models (Beta-Poisson、Probit、Gompertz) について the method of maximum likelihood (最尤法) によりあてはめが行われている。SAS NLIN procedure を用いて most likely estimate (MLE、最尤推定値) を iterative re-weighted least squares method で求めている。3 つのモデルはデータへの適合では優劣がつけがたかったが、低菌数での発症確率が異なった。

## ②統計および数学的シミュレーションのためのソフトウェアの探索と分析

### ②-1. 統計ソフトウェア

代表的な 5 製品 (Cytel Software 社の StatXact, ISAC 社の S, 数理システム社の S-PLUS, デジタルデータマネジメント社の stat tools, SPSS 社 SPSS) の機能を調査し、整理した。いずれも記述統計、回帰分析、分散分析、多変量解析等の基本的な統計解析を行うための機能は有しているが、利用できる手法に差異が見られた。

### ②-2. シミュレーションソフトウェア

代表的な 4 製品 (Palisade 社の@RISK、構造計画研究所 (Decisioneering 社) の Crystal Ball、Lumina Decision Systems 社の Analytica、ModelKinetix 社の Model Maker) の機能を調査し、整理

した。これらは、Microsoft Excel のアドインとしてスプレッドシート上でモデルを構築するタイプと、独自のインタフェースにおいてノード、リンク、モジュール等のオブジェクトによってモデルの構造を明示的に示しつつモデルを構築するタイプに大別された。定量的リスク評価の結果に影響を及ぼす可能性のある要素としては、乱数発生法、サンプリング法が挙げられる。これらの視点から各ソフトのシミュレーション機能を比較・分析した結果は、表1のように整理された。

表1. シミュレーションソフトウェアの機能の比較

	サンプリング法	乱数発生法
@Risk	・モンテカルロ ・ラテンハイパーキューブ	・減算法
Crystal Ball	・モンテカルロ ・ラテンハイパーキューブ	・乗算型合同生成法
Analytica	・中位ラテンハイパーキューブ ・ラテンハイパーキューブ ・標準的なモンテカルロ	・Minimal Standard ・E'cuyer法 ・Knuth法
ModelMaker	・モンテカルロ	・不明

### ③新たなモデル構築あるいは既存のリスク評価モデルの再構築の試み

平成18年2月7～10日に、カナダから Gregory Paoli 氏(Decisionalysis Risk Consultants, Inc)を招聘して、シミュレーションソフトウェアである Analytica の講習会を開催した。受講者は研究班員を中心に14名、実習を交えながら効果的な研修が受けられた。Analytica はモデルの表現がグラフィカルであるため、利用者にモデルの構造が理解しやすいことが実感された。

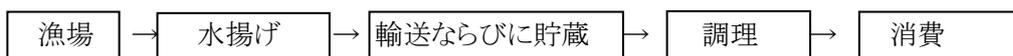
### 【二年次：平成18年度】

アジの刺身の摂食に伴う腸炎ビブリオ感染に関する確率論的リスク評価モデルを元に、本年度研究計画の骨子であった i) データの数学的解析法の探索と分析、ii) 統計および数学的シミュレーションのためのソフトウェアの探索と分析、iii) 新たなモデル構築あるいは既存のリスク評価モデルの再構築の試みを、以下のように遂行した。

#### ①@RISK 上で構築された元のモデルの Analytica への移行

同一のモデルを異なるソフトウェアでモデリングすることにより、ソフトウェアの機能の違いをより明確なものとし、定量的リスク評価を行う際のシミュレーション・ソフトウェアの使用方法について検討することを目的とした。具体的には、@RISK(Palisade Inc.)上で構築した「アジの刺身の摂食に伴う腸炎ビブリオ感染に関する確率論的リスク評価モデル」を、同じデータ、データの確率論的取り扱い方法を維持したまま、昨年度研究班員全員が受講した Analytica(Lumina) にあてはめた。

モデルは、アジの収穫から消費までを下記のような流れとし、各段階において汚染された水または清浄な水を使用することの違いが、最終的に病気の発生確率にどの程度影響を与えるかを評価するものである。



元のモデルは@RISK は Excel にアドインされているため、図3に一部を示すように構築されている。Analytica に移行したモデルは図4のように示される。比較の結果、以下の事項が判明した。

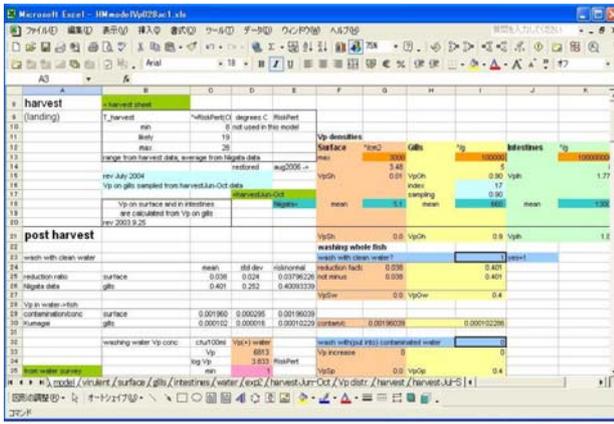


図3. @RISKによるモデル

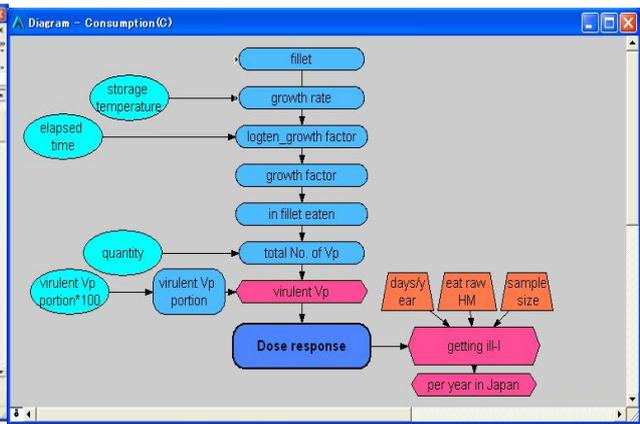


図4. Analyticaによるモデル

- ◆ Analytica のほうが結果の表示が速い。ただし、グラフの表示は@RISK のほうが速い。
- ◆ Analytica は乱数生成法を変更できるが、@RISK では変更できない。
- ◆ データの管理は Analytica に比べ Excel シートの方が容易である。Analytica でも 2 次元データを作成できるが、インデックスを作成する必要があり、セル参照の方法が煩雑なため使いにくい。Analytica でデータの保持が必要な場合は Excel シートを外部参照する機能を使ったほうがよい。
- ◆ @RISK は Excel シート上にモデルを作成するため計算途中の結果(期待値)を把握しやすい。
- ◆ Analytica は要素同士の影響関係がわかりやすい。
- ◆ @RISK も Analytica も、シミュレーション結果はほとんど変わらない。初めに@RISK でモデルを作成することによりリスクの計算が正しく行われていることを確認し、モデルの構成を理解しやすくするために、リスクコミュニケーションツールとしての Analytica に移行する、という使い方が推奨される。

## ②@RISK 上で構築されたモデルの改善を通じた確率論的手法の開発

「アジの刺身の摂食に伴う腸炎ビブリオ感染に関する確率論的リスク評価モデル」は、アジの流れを扱う。初期のモデルに対して、新データ探索し、増殖モデルと用量反応モデルを再検討し、その改良過程において確率論的手法の開発と検討を行った。

### ● アジでの腸炎ビブリオ増殖

アジの切り身に腸炎ビブリオ  $10^3$  個を加えた試料を温度  $33^\circ\text{C}$  に 7 時間放置した後の菌数の変化に関する報告（堀江ら）を用い、Miles らが温度 ( $T$ )、水分活性 ( $a_w$ ) の関数として求めた増殖率  $k$

$$\sqrt{k} = b(T - T_{\min}) \{1 - \exp[c(T - T_{\max})]\} \sqrt{(a_w - a_{w\min}) \{1 - \exp[d(a_w - a_{w\max})]\}}$$

について、 $33^\circ\text{C}$  でのアジ切り身のデータに合うよう補正係数を決定した。

### ● 病原性腸炎ビブリオの割合

島根県のデータ（福島）から、海水中の病原性腸炎ビブリオの割合が非常に低く、かつばらつきが大きいことがわかった。病原性腸炎ビブリオの割合はコントロールできるものではないので、代表的な値についてリスクを計算し、値により結果がどう変わるかを確認することにした。

### ● 海水の汚染

文献データに従って市場使用海水の汚染分布を反映させることにより、運搬・貯蔵時に汚染水に晒された影響を取り入れることとした。海水の汚染濃度は現実に近くなる。汚染水に 3 時間漬けた実験データは、旧モデルを踏襲して用いる。腸炎ビブリオ食中毒の発生時期である 6 月から 10 月の、アジの漁場に近い漁港市場データを用いた。

### ● 菌の刺身への移行、他の食品等への交叉汚染

調理過程において、アジから他の食品へ交叉汚染の可能性があると考えられる経路について、新た

に収集した文献データを詳細に分析し、モデル化の可能性を検討した。酢の物であっても 30℃以上であれば腸炎ビブリオ増殖すること、調理器具の除菌についての定量データ（10 秒間の水洗で木製まな板では 3log 減少、合成まな板では 4log 減少、発泡スチロール板では  $1.9 \times 10^6$  が検出できる程度に減少、ふきんでは 4log 減少、亀の子タワシでは 2log 減少、スポンジタワシでは 4log 減少）は得られたが、まな板や包丁を介して汚染がアジの「さく」に移行する菌の移行率を定量的に推定するデータは検索できなかった。モデルに取り込むためには、更に、調理器具から食品への腸炎ビブリオ菌の移行率、対象となる食品のアジの調理とほぼ同時に調理されて喫食される頻度と喫食量、対象となる食品の喫食までの放置時間と温度、増殖式（あるいは塩分濃度）が必要と考えられる。しかし、これらのデータが不足していた。したがって、元のモデルに付加する形で交叉汚染をモデル化することは現状では困難であると考えられた。

#### ● 用量反応モデルの再検討

旧モデルでは USFDA の生カキに関するリスクアセスメントで作成されたモデルをそのまま採用した。モデル作成の際に用いられた人摂取実験データの原論文にあたったところ、FDA の引用するデータと原論文データの間で不一致が見出された。元データをもとに用量反応モデルのパラメーターの決定を行い、新たに求めた用量反応曲線と元の用量反応曲線について結果を比較した。暫定的な計算結果では、低用量での発症を考慮に入れた新用量反応曲線では FDA の用量反応曲線に比較し、発症リスクがおよそ倍になった。

### ③食品健康影響評価指針付属文書の原案作成

食品安全委員会「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指針」の付属文書として、用語の解説（ALOP, FSO）、用量反応分析、感度分析、確率論的リスク評価事例の各項目の原案を執筆した。

### ④FAO/WHO 合同専門家会議報告書の翻訳

2006 年 4 月にドイツのキールで開催された、「微生物学的リスク評価結果の実践的リスク管理戦略作成への利用」に関する FAO/WHO 合同専門家会議の報告書を翻訳した。

## 【三年次：平成 19 年度】

最終年度には、過去 2 年間の研究実績を踏まえ、より実践的な確率論的モデルの作成を中心に研究を遂行し、以下の 2 つのリスク評価モデルを構築した。

### ①アジ生食にともなう腸炎ビブリオ食中毒の定量的リスクアセスメントモデルの改良

昨年度に示したように、リスク評価の目標は

1. 水揚げから摂食にいたるまでの食中毒防止対策の効果の大きさを評価し、防止策の選択に役立つ情報を提供すること、
2. 正確な食中毒発生予測に必要な情報を特定し、そのために有用な研究課題の選定、食中毒防止のためにモニターすべき指標の選定に役立てること

である。

また食中毒発生あるいは防止対策に関連するシナリオとして

1. 水揚げ時に、あるいは市場で魚全体を洗浄する
2. 市場で、あるいは輸送時に汚染された水を使用する
3. 輸送時に高温の時期がある
4. 調理時に内臓を除去した後腹腔を水洗してさくを取る

の選択肢を取り上げ、すべて独立に選択するようにした。

今年度の改良点として、

- a. 菌の初期密度、病原菌株の割合は固定するが、倍数をかけて結果への影響を評価することができるようにした。また、
- b. 調理時に魚の表面、エラ、内臓から刺身に移行する腸炎ビブリオ菌数の確率的な変動の影響の評価にあたり、移行する病原性の菌数が少数である場合の統計的なばらつきを取り入れるため、移行腸炎ビブリオ菌数を Poisson 分布により生成し、その菌数と初期の病原菌の割合から 2 項分布により病原菌数を求め、それらの比から移行後の病原菌の割合を算出することを試みた。
- c. 用量反応の Beta-Poisson モデルにおいて従来行っていた平均摂取菌数に対する平均発症率を与える近似式による方法に加え、摂取菌数に対する発症率を二項分布により与える方法を追加した。アジ生食リスク評価では摂取菌数が変動していて一定ではない。現在のモデルでは平均菌数を扱っているとみなして、最後にその菌数からポアソン分布により実際の菌数を発生して、2 項過程モデルで発症率を計算することができる。この方式で計算したものは、ベータポアソンモデル（近似形）で用いたものとばらつきの範囲で同じ平均発症率を与えるが、ばらつきが大きい（iteration 回数をふやしても simulation ごと のばらつきがあまり減らず、時間がかかる）。平均発症率を求めるにはベータポアソンモデル（近似形）によるのが効率的である。したがって、平均発症率をもとめるには、近似の条件が満たされるならばベータポアソンモデル（近似形）によるのがよいと結論された。近似式の条件が満たされない場合には 2 項過程モデルを用いれば（使用ソフトウェアに備わっていない場合が多いであろう）Kummer 合流型超幾何関数を使わなくてよいというメリットがある。完全に確率論的なモデルを構築し、平均菌数でなく菌数そのものを扱うのであれば、2 項過程モデルを用いることになる。ベータポアソンモデルはヒト投与実験結果から 1 個の病原体による発症確率の分布を定めるときに用いられる。その際、近似形が使えないときは Kummer 合流型超幾何関数を使わねばならない。ここでは、発症という言葉を使っているが、この考えを発症でなく感染に適用し、発症は感染した場合に、（菌数に関係なく）ある確率でおこるという考え方もある。カンピロバクターではそのような扱いがなされている。腸炎ビブリオでは発症を直接扱っている。病原体により適切な方を選択する。

得られた結果は以下の通りである。

- ・ベストケースシナリオ（アジの刺身を摂食した場合の平均値として）  
摂食される病原性腸炎ビブリオの個数 9  
発症確率(US FDA による用量反応関数を用いた場合)  $6 \times 10^{-6}$
- ・ワーストケースシナリオ（アジの刺身を摂食した場合の平均値として）  
摂食される病原性腸炎ビブリオの個数 200  
発症確率(US FDA による用量反応関数を用いた場合)  $1.2 \times 10^{-4}$
- ・想定される（悪い）オプションの効果（ベストケースと比較して）

オプション	発症確率の増加
汚染水の使用	無視できる
陸揚げ時の水洗なし	1%
輸送中の高温	50%
調理中、内臓除去後に水洗なし	16 倍

## ②鶏肉によるカンピロバクター食中毒の定量的リスクアセスメントモデルの開発 要旨

本分担研究は、家庭で喫食された鶏肉によるカンピロバクター・ジェジュニ/コリ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案の有効性を

評価する Farm-To-Fork の確率論的モデルを構築することを目的とした。特に、食鳥処理場の時間的区分、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、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、食鳥処理場の時間的区分であり、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。農場での衛生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。

## 研究の成果と概要

### ②-1. モデルの全体構造ならびに各段階の概要

本分担研究で構築したリスク評価モデルの全体構造を図5に、各段階の概要を表2に示す。

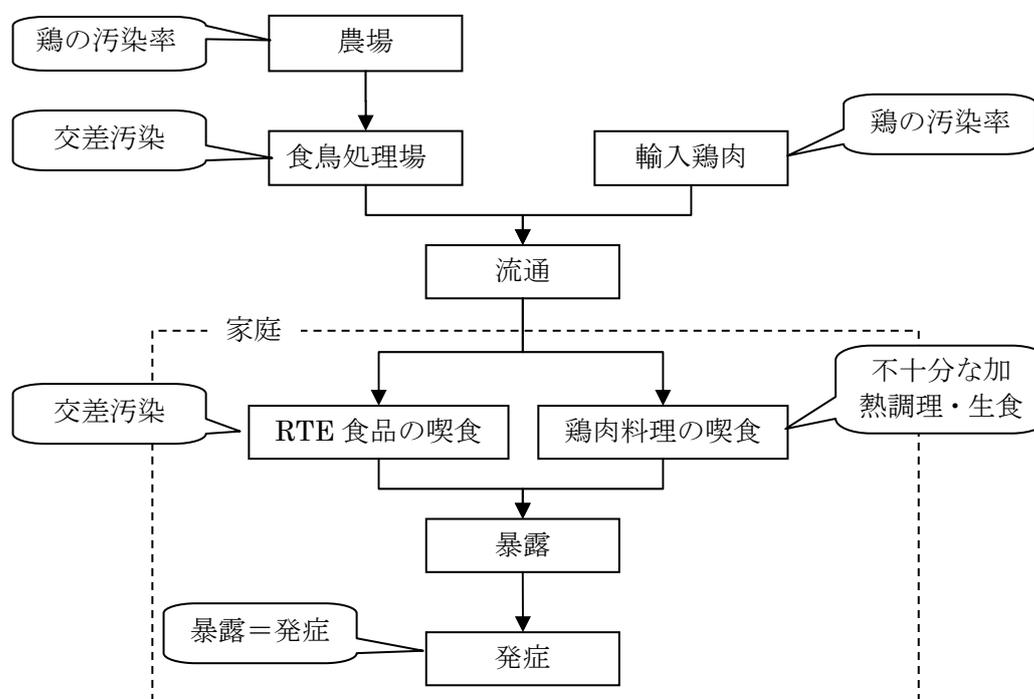


図5. モデルの全体構造

表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され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/非汚染を区別せずに鶏を食鳥処理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）を喫食すること</u> 、 (ii) <u>汚染鶏肉から交差汚染された RTE 食品を喫食すること</u> 、 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。

## ②-2. 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。シミュレーションはラテンハイパーキューブ法によって 10 万回の試行を行った。モデルシートを参考資料に示す。

### ②-2-1. 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」（文献 2）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。

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

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。

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

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

農林水産省「2005 年農林センサス」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  $N_{ncf}$  が次式のとおり求められる。

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

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

これらを表 3 にまとめる。

表 3. 農場段階の確率論的モデル

項目	算出式
農場汚染率 $r$	$r = \text{RiskBeta}(131, 202)$
汚染農場における鶏の感染率 $p_{cf}$	$p_{cf} = \text{RiskBeta}(853, 595)$
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 $N_{cf}$	$N_{cf} = N_{dom} \cdot p_f$
汚染農場からの年間出荷数 $N_{ncf}$	$N_{ncf} = N_{dom} \cdot (1 - p_f)$

なお、別の分担研究では、データのサイズが限られている場合のパラメーターの推定方法を検討するため、農場段階でのカンピロバクター汚染率について、ブートストラップ法やベイズ推測を用いて推定するとともに、これらの手法の特性や相違点について検討した。観察データとして、論文で報告されている 2 食鳥処理場に出荷された 12 農場 20 ロットのカンピロバクター分離成績を用いた (図 6 のア)。まず、ブートストラップ法による推定では、観察データから 10,000 回のブートストラップサ

ンプリングを行い、これらのサンプルの平均値と標準偏差を用いて正規分布で近似することにより適切な推定分布が得られた（図6のイ）。ベイズ推測による推定では、まず、ベータ分布を用いて感染ロットの割合の推定分布を得た。また、感染ロットにおける感染割合のデータについて、Binomial model を用いたMCMC法で感染割合をサンプリングした後、これを正規分布で近似して、二項過程における成功確率としてモデルに適用し、推定分布を得ることができた（図6のウ）。両手法で得られた結果は類似しており、いずれもデータのよい推定値となっていると考えられたが、データ数が特に限られている場合には、ベイズ推測がより有効と考えられた。

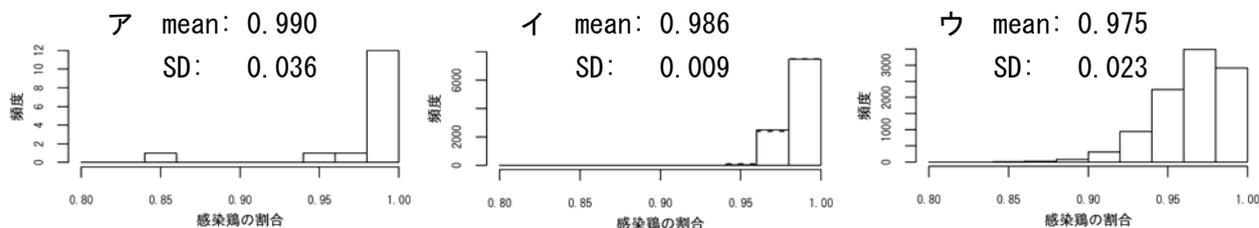


図6. カンピロバクター感染ロットにおける感染鶏の割合の推定。ア:推定に用いた実験データ。イ:ブートストラップ法によるサンプル値（点線）と正規分布による近似値（実線）。ウ:MCMC法で得た平均割合を Binomial (50, p) に導入して得た推定分布。

## ②-2-2. 流通段階

食鳥処理段階で求める必要がある交差汚染率は、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、流通段階のモデル化を行った。

文献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。

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

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。

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

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

さらに、文献5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。

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

これらを表4にまとめる。

表4. 流通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 $p_{dist}$	$p_{dist} = RiskBeta(1116,714)$
---------------------	---------------------------------

②-2-3. 食鳥処理段階

食鳥処理場での交差汚染率を次式のように定義する。

<p><b>【定義】</b></p> <p>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</p> $\text{交差汚染率} = \frac{\text{工程過程で増えた汚染鶏肉数}}{\text{工程前の非汚染鶏肉数}} = \frac{\text{工程後の汚染鶏肉数} - \text{工程前の汚染鶏肉数}}{\text{工程前の非汚染鶏肉数}}$
---

②-2-4. 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）、の2経路からカンピロバクターに暴露される（図7）。

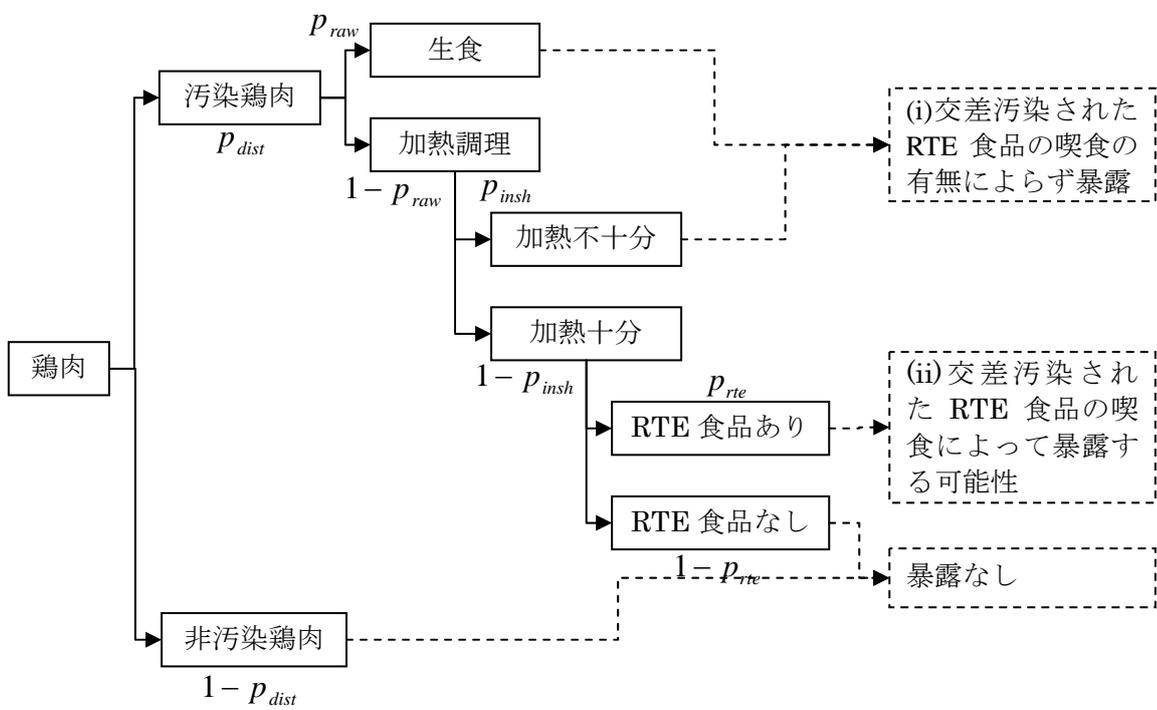


図7. 暴露経路

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（文献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。そこで、さまざまな仮定を設定して鶏肉の生食頻度をモデル化した。

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。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

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

0 および 0 から、喫食暴露確率  $E_{cons}$  は次式で算出される。

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

### 交差汚染暴露

カンピロバクターに汚染された鶏肉の摂食に関する farm-to-table 型リスクアセスメントモデルのサブシステムとして、家庭における調理に伴う鶏肉から RTE 食品への交差汚染モデルを検討した。図 8 にモデルの構造を示す。

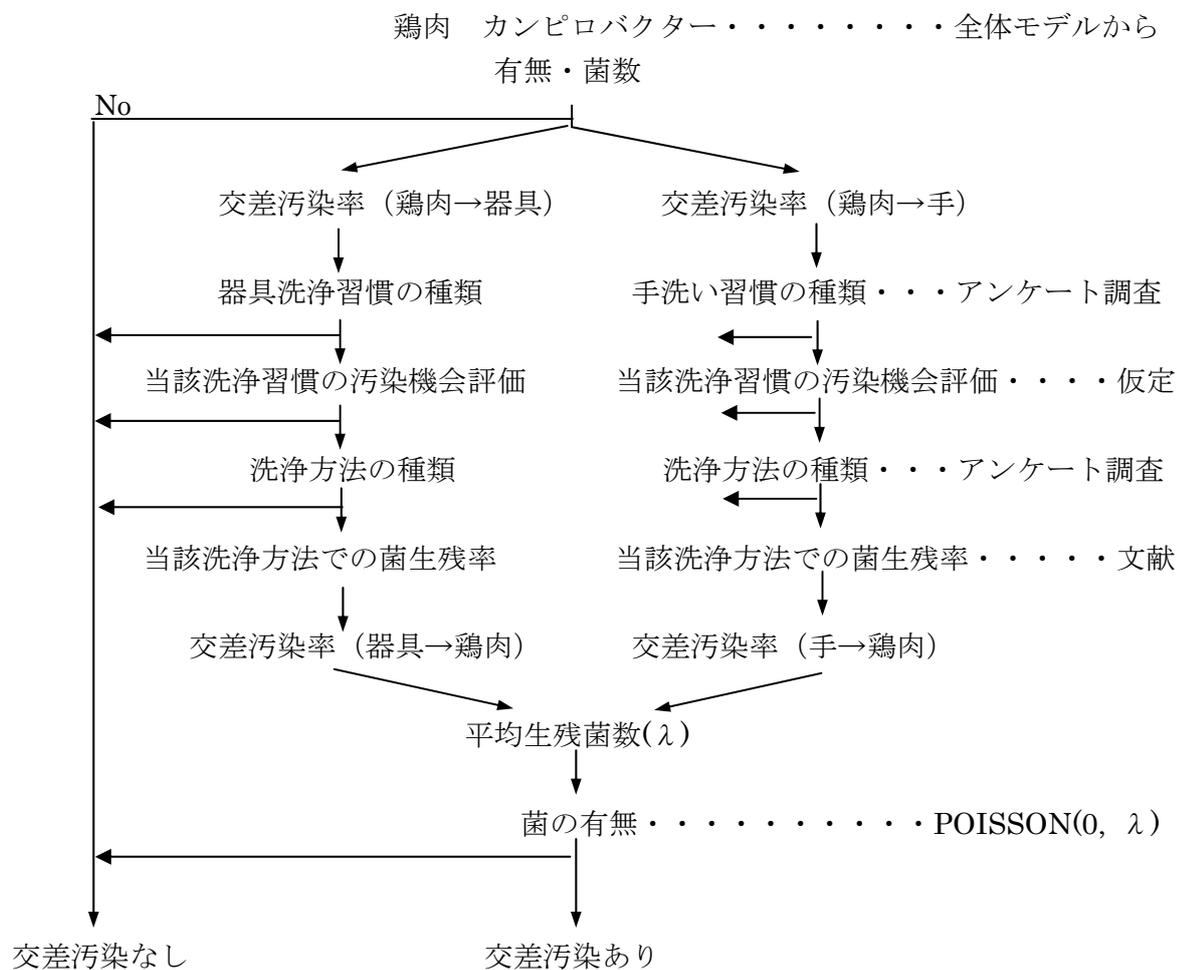


図 8. 交差汚染モデルの構造

(i) 調理器具を介した交差汚染

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。

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）用とは別にしてはいる」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「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」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、「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」「決まっていない」との回答者を「bad」として集計した上で、平成 17 年国勢調査人口（日本人）で性・年齢別に拡大推計し、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。

表 5 に基づき、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 5. 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

同様にアンケート調査結果を利用して求めた調理器具洗浄方法による菌の生残率、文献結果として 34.3%を引用した調理器具から RTE 食品への交差汚染率をもとに、調理器具を介した交差汚染率は、表 6 のア) ~エ)の積として算出される。

表 6. 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

同様に、手指を介した交差汚染率は、表 7 のア) ~エ)の積として算出される。

表 7. 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) 調理器具洗浄方法による菌の生残率	$RiskDiscrete(\{0,0.005\%,1\}, \{50.4\%, 49.4\%, 0.3\%\})$
エ) 調理器具から RTE 食品への交差汚染率	2.07%
オ) 調理器具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  $n_{camp} p_{ccc}$  は

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

(iv) 交差汚染暴露

年間の鶏肉喫食量(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、年間の鶏肉喫食人数(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た。なお、ここでの鶏肉は正肉と内臓肉の双方を含む。

表8. 年間鶏肉喫食人数・喫食量

人数(人)	喫食量(g/年)	喫食数(食/年)
105,943,707	1,307,163,077,271	8,017,206,562

これに、中ピナ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)を用いて一食あたりの鶏肉喫食量(羽数/食)  $Cons$  を求めると、次式のとおりとなる。

・ 一食あたり鶏肉喫食量(羽数/食)  $Cons = 0.00563$

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。

・  $p_{rte} = RiskUniform(0,1)$

以上から、RTE 食品が交差汚染される確率  $E_{cc} = P_{ccc} n_{camp} Cons P_{dist} (1 - P_{raw})(1 - P_{insh}) P_{rte}$  を求めることができる。

なお、これまでに報告されているカンピロバクターの代表的な交差汚染モデルの検討も行った。Kusumaningrum らのモデルは鶏肉や調理器具表面の菌密度をトレースしたことに特徴があり、Mylius らのモデルは鶏肉中の全菌量の RTE への移行率を見ていて、食品の重量や表面積は基本的に考慮していない反面、汚染経路については詳細に検討している。Uyttendaele らのモデルは両者の中間的な特徴を有している。

②-2-5. 発症

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、不完全加熱料理および二次汚染された RTE 食品を喫食すれば発症)

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

②-3. カンピロバクター食中毒に対する対策シナリオの効果の評価

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9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、比較を行った。なお、そこでは、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した。

表9. 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	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

区分	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。

具体的には、

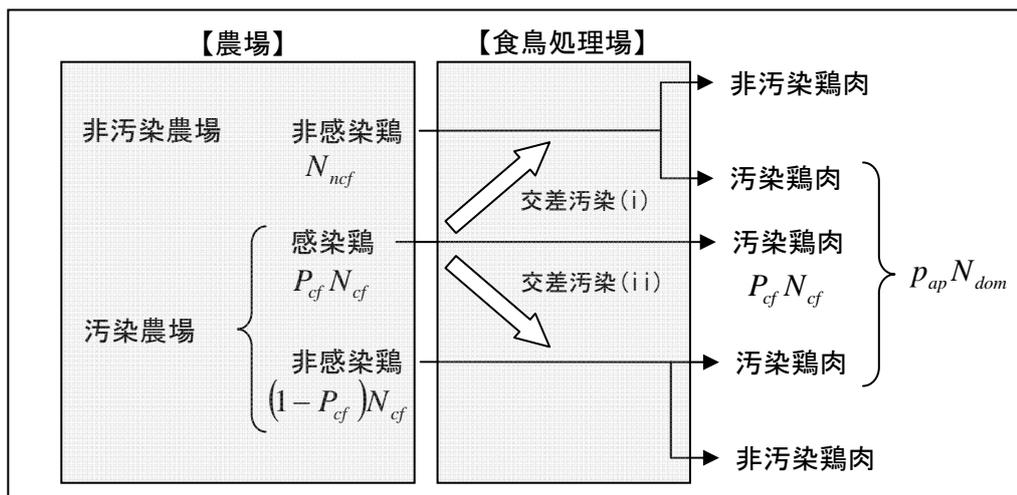
1) 農場での管理

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

図9のように、基本シナリオでは汚染農場から出荷された感染鶏から非汚染鶏への交差汚染が起きているが、食鳥処理の区分シナリオでは、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>

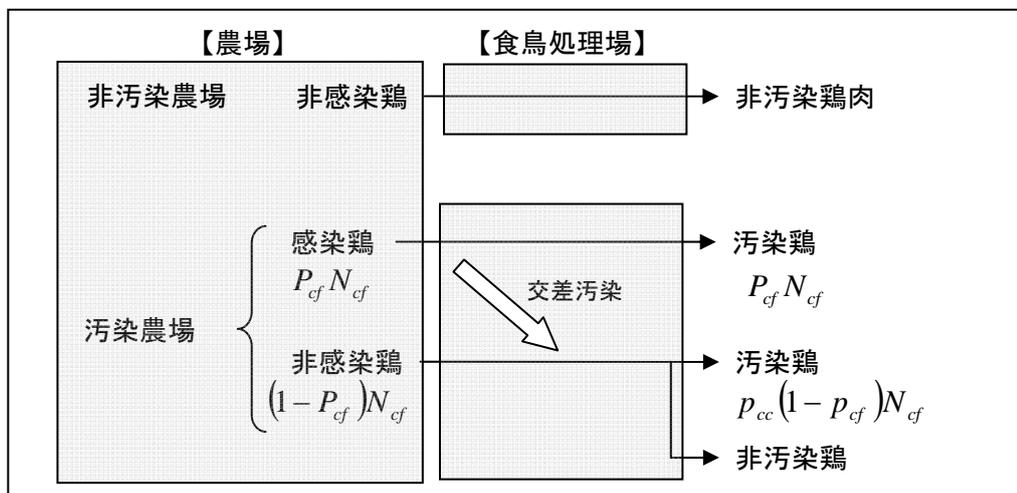


図9. 食鳥処理場におけるシナリオ

当該措置により、食鳥処理場における交差汚染率がゼロになると仮定すると、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。

### 3) 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、その結果、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、その効果を把握した。

### 4) 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、その結果、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、その効果を把握した。

## ②-4. 結果

### ②-4-1. リスク推定

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。次いで、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、調理中の交差汚染暴露リスクはわが国の食中毒リスクにほとんど影響を及ぼさない。

表10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。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。

表10. 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%

### ②-4-2. 食中毒リスク対策の効果

#### 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いため、結果として低減効果はさほど大きくはない。

## 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。

### ②-5. 結論

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。

#### 【参考文献】(本概要に引用されていない文献も含む)

1. Amir M.Fazil, Ruff Lowman, Norman Stern, and Anna M. Lammerding: “A quantitative risk assessment model for *C.jejuni* in fresh poultry”, December 16<sup>th</sup>, 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](http://www.maff.go.jp/toukei/sokuhou/data/syokutyou-ryutsu2006/syokutyou-ryutsu2006.pdf))
4. David Vose: “Risk Analysis – A Quantitative Guide”, 2<sup>nd</sup> 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

### ③シミュレーションソフトの探索と分析

#### ③-1. 乱数生成法の概要と特性把握、整理

モンテカルロシミュレーションソフトに実装されている乱数生成法を表 1 1 に整理する。ここでは、2008 年 1 月にリリースされた @RISK 5.0 (英語版) の情報についても追加し整理する。なお、@RISK 5.0 (英語版) では 8 つの乱数生成法が選択可能になっている。

表 1 1. モンテカルロシミュレーションソフトにおける乱数生成法

乱数生成法	ソフトウェア	備考
乗算合同法	Crystal Ball	
	Analytica: Minimal Standard	Minimal Standard with Bays-Durham shuffle
	@RISK: MRG32k3a <sup>*1</sup> Analytica: L'Ecuyer	L'Ecuyer の乗算合同法アルゴリズム
	@RISK: MWC <sup>*1</sup>	Multiple with carry
	@RISK: KISS <sup>*1</sup>	Keep It Simple Stupid
ラグつきフィボナッチ生成法	@RISK: RAN3I <sup>*2</sup> Analytica: Knuth	Knuth の減算法アルゴリズム
	@RISK: LFIB4 <sup>*1</sup>	ラグ付きフィボナッチ生成法
	@RISK: SWB <sup>*1</sup>	Subtract-with-borrow
	@RISK: SWB+KISS	
Mersenne Twister 法	@ RISK: Mersenne Twister <sup>*1</sup>	

\*1: @RISK 5.0 (英語版) より搭載 \*2: @RISK3, 4 で搭載されていた乱数生成法。@RISK5.0 でも選択可能。  
資料: 平成 17 年度報告書および各ソフトウェアリファレンスマニュアル等より作成

### ③- 2. サンプルング法の概要と特性把握、整理

モンテカルロシミュレーションソフトに実装されているサンプルング法を表 1 2 に整理する。

表 1 2. モンテカルロシミュレーションソフトにおけるサンプルング法

サンプルング法	ソフトウェア
モンテカルロ法	@RISK、Crystal Ball、Analytica
ラテンハイパーキューブ法	@RISK、Crystal Ball、Analytica
メディアムラテンハイパーキューブ法	Analytica

※R については不明

資料: 各ソフトウェアリファレンスマニュアル等より作成

### ③- 3. ソフトウェアによるアウトプットの差異が生じる可能性の検討

乱数生成法としてメルセンヌツイスター法を用いてモンテカルロ法 (MC) とラテンハイパーキューブ法 (LHS) の収束過程を比較したところ、両サンプルング法とも試行回数が 5000 回付近までは平均値は同程度の収束過程をたどったが、それ以降、モンテカルロ法では収束過程は緩慢に推移する一方で、ラテンハイパーキューブ法では、そのまま直線的にゼロに収束していった。すなわち、ラテンハイパーキューブ法を用いれば、10000 回のシミュレーションで十分にもとの標準正規分布の平均値が再現されるといえる。これはラテンハイパーキューブ法の層化サンプルングの効果であろう。

サンプルング法としてラテンハイパーキューブ法を用いて、ある程度大きな試行回数でシミュレーションを行う限り、乱数生成法の差異によってアウトプットに実務的に問題となる大きな差異は生じないという。特に、食品安全に係る定量的リスク評価では用いることのできるデータが限られており、その精度もそれほど高くない場合が少なくない。このため、高精度の乱数生成法に拘泥する必要性はさほどないと考えられる。ただし、食品安全に係る定量的リスク評価においては大きく歪んだ非対称分布が複合的に用いられることが多いため、ここで実施した単一の対称分布 (標準正規分布) に関する分析結果がそのまま該当するとは限らない点に留意が必要である。

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	<b>農場段階</b>				
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	pef		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	<b>食鳥処理</b>				
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	<b>流通段階</b>				
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	<b>調理・喫食</b>				
47	<b>(i)鶏肉の喫食を通じた暴露</b>				
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	<b>(ii)交差汚染を通じた暴露</b>				
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	<b>結論</b>				
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	<b>(参考)生食頻度のモデル化</b>				
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	1. 全農場数							
3		2374	農場					
4	出典: H17農林業センサス							
5	留意点: フロイラー年間出荷羽数1,000羽以上の農業経営体							
6								
7	2. 農場汚染率							
8			検査数	分離数				
9		農場	331	130				
10		羽数	3,683	852				
11								
12	出典: 平成18年度動物由来感染症調査成績(農林水産省)							
13	留意点: 育成鶏についての検査・分離数							
14								
15								
16	3. 国内年間出荷鶏数							
17		471,645,984	羽					
18	出典: H17農林業センサス							
19	留意点: フロイラー年間出荷羽数1,000羽以上の農業経営体							
20								
21	4. 輸入鶏肉の汚染率: 参考資料2参照							
36	5. 輸入鶏肉							
37		371	千t					
38	出典: 2006農林水産物輸出入概況							
39								
40	(参考) 大ビナ1羽あたり重量(食鳥処理場にアリング)							
41		3	kg					
42								
43	6. 国内鶏肉の汚染率: 鈴木(2008)に基づき設定							
124	7. 加熱不充分的割合							
125								
126								
127	8. 交差汚染で移行する菌数							
128	出典: H18国内における喫食実態調査(食品安全委員会)							
129								
130	(1) 手洗いの習慣							
131		手洗い習慣	人数	割合	菌の生残率			
132		1good	71227076.2	87.5%	0			
133		2bad	10217815.3	12.5%	1			
134	留意点:							
135	Q2=2 or 5の時「1good」、それ以外を「2bad」							
136	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							
137								
138	(2) 手洗いの方法							
139		手洗い方法	人数	割合	菌の生残率			
140		毒)	40971987.8	50.4%	0			
141		2better(水洗)	40156751.8	49.4%	0.005%			
142		3bad(洗わない)	208076.277	0.3%	1			
143	留意点:							
144	Q3=2 or 3 or 4の時「1good」、Q3=1の時「2better」、それ以外を「3bad」							
145	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							
146								
147	(3) 器具洗浄の習慣							
148		器具洗浄習慣	人数	割合	菌の生残率			
149		1good	36229421.2	58.5%	0			
150		2bad	25726734.7	41.5%	1			
151	留意点:							
152	Q4=1 or (Q4=2 and Q5=2)の時「1good」、それ以外を「2bad」							
153	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							
154								
155	(4) 器具洗浄の方法							
156		器具洗浄方法	人数	割合	菌の生残率			
157		毒)	40361932.8	65.1%	0			
158		2better(水洗)	20299989	32.8%	0.0347			
159		3bad(洗わない)	1294233.95	2.1%	1			
160	留意点:							
161	Q6=3 or 4 or 5の時「1good」、Q6=2の時「2better」、それ以外を「3bad」							
162	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							
163								
164								
165	9. 交差汚染率							
166		交差汚染プロセス	交差汚染率					
167		鶏肉→まな板	0.0125					
168		まな板→RTE	0.343					
169		鶏肉→手	0.0415					
170		手→RTE	0.0207					
171								
172								
173	10. 年間喫食量							
174		人数	喫食量	喫食数				
175		105943707	13072E+12	8017206562				
176	出典: H18国内における喫食実態調査(食品安全委員会)							
177	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							
178								
179	(参考) 中ビナ1羽あたり重量(食鳥処理場)							
180		2	kg					
181								

(2) 本研究を基に発表した論文と掲載された雑誌名のリスト

(論文発表)

Takehisa Yamamoto, Toshiyuki Tsutsui, Akiko Nishiguchi, Sota Kobayashi, Kenji Tsukamoto, Takehiko Saito, Masaji Mase, Masatoshi Okamatsu

Preliminary evaluation of diagnostic tests for avian influenza using the Markov Chain Monte Carlo (MCMC) method in an emergency surveillance

Journal of Veterinary Medical Science, 2007, 69(6), 673-675

岩堀淳一郎, 山本昭夫, 春日文字

腸炎ビブリオ食中毒原因食品中の病原性株割合と発症の確率モデル

日本リスク研究学会第20回研究発表会講演論文集、183-186、2007

春日文字

微生物学的リスクアセスメントの新たな展開

日本リスク研究学会第20回研究発表講演論文集、313-316、2007

Akio Yamamoto, Jun'ichiro Iwahori, Varaporn Vuddhakul, Wilawan Charernjiratragul, David Vose, Ken Osaka, Mika Shigematsu, Hajime Toyofuku, Shigeki Yamamoto, Mitsuaki Nishibuchi, Fumiko Kasuga

Quantitative modeling for risk assessment of *Vibrio parahaemolyticus* in bloody clams in southern Thailand

International Journal of Food Microbiology, *in press*

(国際学会発表)

Iwahori, J., Yamamoto, A., Suzuki, H., Yamamoto, T., Tsutsui, T., Motoyama, K., Sawada, M., Matsushita, T., Hasegawa, A., Kasuga, F.

Quantitative Risk Assessment of Pathogenic *Vibrio parahaemolyticus* for Raw Horse Mackerel Consumption in Japan

Society for Risk Analysis, 2007 Annual Meeting, San Antonio, Texas, USA. 2007

(3) 特許及び特許出願の数と概要

なし

(4) その他 (各種賞、プレスリリース、開発ソフト・データベースの構築等)

1. アジの刺身の摂食に伴う腸炎ビブリオ感染の確率論的リスク評価モデル

@RISK 版

Analytica 版

2. 家庭での鶏肉の喫食に伴うカンピロバクター食中毒の確率論的リスク評価モデル

### 3 今後の問題点等

本研究は、食品安全委員会で行われるリスク評価に資するために実施されたものである。したがって、研究自体としては完結しても、研究の結果が有効に活用されるためには、今後克服されなければならない以下の課題が存在する。

#### A. 食品安全委員会において活用されるための課題

##### ・リスク管理機関からの想定質問の妥当性の検証

本来、リスク評価はリスク管理機関からの要請に基づき実施されるものである。その際、リスク管理機関から明確に示される質問事項に回答することが求められる。食品安全基本法に規定されるように、食品安全委員会は自らの判断によりリスク評価を行うことが可能であるが、その場合も、想定されるリスク管理機関からの質問事項を、リスク結果を示すべき対象としなければならない。

本研究は、研究としての模擬リスク評価を行ったものである。したがって、研究班として独自に想定質問を準備した。その質問事項が、食品安全委員会にとって、また将来的にはリスク管理機関にとって妥当なものであるか、検証する必要がある。

##### ・食品安全委員会や専門調査会への説明方法

本研究において追求したデータの確率論的扱いは、わが国の食品安全分野では未発達な技術であり、専門家も限られている。本研究の成果を食品安全委員会のリスク評価に役立てるためには、まず研究の内容や手法を食品安全委員会や専門調査会に説明しなければならないが、その説明のための技術を検討する必要がある。しかし、この説明技術は、食品安全委員会によるリスク評価結果を国民やリスク管理機関に説明する際にも役立つため、いずれかの時点で必ず行われるべき検討である。

#### B. 各パラメーターの数学的特に確率論的取り扱いと、モデル全体の確率論的構築に関する課題

これらについては、さらなる技術向上が必要であるため、以下の実施が不可欠である。

- ・諸外国のリスク評価事例からの事例収集
- ・数理解析技術に関する持続的な情報収集と技術習得
- ・新たなリスク評価対象への試行

#### C. 研究の継続、若手研究者の育成に関する課題

食品安全のリスク評価における先進国と異なり、わが国では食品安全を教育する大学の関連学部に、当研究のような研究分野を専攻する研究室がほぼ皆無であり、興味を持つ学生を育てられない。また、食品衛生学や食品微生物学の研究者は現象論の学問、特に実験研究のみに価値を見出し、当研究のようなテーマが研究として理解されない。この事態は非常に憂慮されるべきであるが、即時に解決されるものでもない。

食品安全委員会のリスク評価が確率論的手法を導入しながら発展するためには、食品安全以外のリスク学分野との連携をより促進することを検討すべきかと考える。