

1

2

Ⅱ．資料

Ⅱ. 資料

第6 予測微生物学

1. 食品中における微生物生態の特徴

食品中において大部分の微生物は増殖、静止、あるいは死滅のいずれかの挙動を示す。一般にウイルス、原生動物、寄生虫は食品中において不活性で増殖することはできないが、さまざまな処理によって不活化することはできる。微生物集団は、食品の組成に由来する固有の特性（pH や水分活性など）と加工処理、流通・保存条件等の外的な要因によって、増殖、静止あるいは死滅する。食品の製造から消費に至る過程において、時事刻々、温度等の外的要因が変化することに伴い、微生物集団の挙動が変化する可能性がある。このように、微生物ハザードの濃度が食品の特性および製造・流通過程で変化することが、微生物学的リスク評価を複雑化する要因である。

喫食時点での食品中の微生物数を推定するために、食品に由来する特性と喫食に至るまでの流通過程の影響を考慮し、微生物数の変化を現す数理モデルが必要となる。このような要求に応えるために、様々な予測モデルが研究開発され、予測微生物学（Predictive microbiology）という学問体系が発展してきた。

なお、予測微生物学は、ウイルスの場合では、評価におけるウイルスの死滅に関するモデリングの参考として寄与すると考えられる。

2. 予測微生物学の概要

予測微生物学（Predictive microbiology）とは食品における微生物（特に病原菌、腐敗菌）の増殖や死滅挙動を数理モデルとして記述し、食品における微生物学的な安全性を定量的に評価・確保するための手段として発達してきた研究分野である。予測微生物学の究極的な目標・理念は、食品中の微生物数を実測せずにおかれている環境条件（温度、水分活性、pH）値から、予測可能とすることである。このような予測を実現するために環境条件をパラメータとして、微生物挙動を説明するための各種の数理モデルが提案されている。具体例としては、保存流通中の温度履歴から、対象とする微生物数の変化を予測する、あるいは加熱加工処理条件から、処理後の微生物数を予測するといった、経時的な変化を推定するモデルが多く提案されている。また、一方で微生物がある環境条件下で増殖する、あるいは増殖しない、といった事象の発生確率として捉えて、確率論的に微生物挙動をモデル化する手法が近年増加している。両方のアプローチを上手く組み合わせることで、より現実的な予測が可能となる。具体的には、「ある食品を冷蔵保存しておいた場合、どのくらいの期間で、どの位の確率で、どの程度の菌数にまで増加するのか？」といった問いかけに答えることができるよう

1 になる。

2 欧米では予測微生物学に関するいくつかの成書が発刊されており(Brul et al.,
3 2007; McKellar and Xuwen, 2003; McMeekin et al., 1993; Peleg, 2006)、まと
4 まった知識を得るための好材料となっている。また、主要な国際学術雑誌を検索
5 すれば、予測モデル関連の論文はほぼ毎号掲載されている。

7 3. 増殖／死滅モデルの基本概念

8 微生物の時間変化に伴う増殖あるいは死滅を表現するための数理モデルの構
9 築はいくつかの段階に分けられる。はじめに、増殖曲線あるいは死滅曲線を表現
10 するための‘Primary’ (一次) モデルが適用される。‘Primary’ モデルは増殖ある
11 いは死滅の時間変化を記述するためのモデルである。増殖挙動を記述する代表
12 的な‘Primary’ モデルとしては古くはロジスティック式やゴンペルツ式のよう
13 な多項式モデルが、その後、微分方程式を基盤とした Baranyi モデル(Baranyi
14 and Roberts, 1994)や Fujikawa モデル(Fujikawa et al., 2004)が挙げられる。
15 当然のことながら各種の条件が異なれば増殖／死滅パターンは異なってくるが、
16 ‘Primary’ モデルはその数式中の係数を変化させることによって種々の条件で
17 の曲線を描くことになる。ここでは異なる培養温度における増殖曲線を例に解
18 説する (図 1)。培養温度の上昇に伴い、最大増殖速度 (対数増殖期の直線性を
19 示す部分の傾きに相当) が大きくなっていくことが分かる。このように、環境条
20 件の違いによって描く曲線の形は異なるが、基本となるパターンは‘Primary’ モ
21 デルとして記述され、その数式中の係数が変化することになる。

22 次に、‘Primary’ モデルから得られた条件毎の係数とその環境条件との関係を
23 何らかの関係式で表すことになる (‘Secondary’ (二次) モデル)。一例として図
24 1 から得られた最大増殖速度と温度との関係を図 2 に示す。この関係を記述す
25 るモデル式としては様々なモデルが提案されているが、ここでは Ratkowsky の
26 平方根モデルを適用する(Ratkowsky et al., 1982)。一例として、温度のみの影
27 響をモデル化しているが、当然のことながら微生物の増殖には他の環境要因、例
28 えば pH や食塩濃度 (水分活性)、有機酸濃度など、が影響するが、これらの影
29 響についても複合的な影響を考慮したモデルが様々な提案されている(Ross and
30 Dalgaard, 2003)。包括的な取り組みとしては温度、pH をはじめとする 12 もの
31 環境要因を含んだ増殖速度モデルが提案され、大規模な検証も行われている
32 (Mejlholm and Dalgaard, 2009; 2007; Mejlholm et al., 2010)。他にも様々な環
33 境要因を組み込んだ予測モデルが開発されており、解析者の選択肢は多岐にわ
34 たる。

35 このように、各種の環境要因を変数としてモデルに組み込むといった手法でモ
36 デル開発が行われてきているが、一方で、食品の実際の食品の成分組成や構造特

性は多岐にわたり、抽象化した内的環境要因だけで的確に予測できるとは限らない。そのため、実際の適用に際しては検証が不可欠である。さらには、実際の対象となる食品でのモデル構築もまた実用的には有効な手法である。詳しくは論文や成書を参照して、目的に応じて使い分けていくことが重要である。

これまで増殖モデルを例にして解説したが、死滅過程のモデル化も重要である。加熱殺菌においては、 D 値や z 値に代表される殺菌工学が古くから発展してきたが、従来の片対数グラフ上で直線的に微生物数が減少するような現象解析だけでは正確な死滅を予測するためには不十分であることが指摘されてきている。死滅曲線の解析においても増殖挙動の解析と同様に'Primary' モデルから係数を抽出して環境条件の依存性を表す'Secondary'モデルを構築することで、様々な死滅予測を可能としている(Peleg, 2006)。

最後に'Primary' モデルに環境の影響を反映した'Secondary'モデルを統合することで、変動する環境条件下においても微生物数の変化をシミュレート可能する'Tertiary model'が作られ、各種の予測ソフトウェアへと発展する。

4. 予測ソフトウェアの展開

開発した予測モデルを有効活用するために各種の予測ソフトウェアが開発されている。1990年代前半には米国、英国において大規模な国家プロジェクトとして細菌増殖予測ソフトウェアの開発が進められた米国では現在も開発が続けられている無償のソフトウェア Pathogen Modeling Program (PMP)が開発された(Buchanan, 1993)。一方で、英国では Food MicroModel (FMM) (McClure et al., 1994)が開発され、商用パッケージとして販売されていた。その後、本ソフトウェアは Growth predictor として無償提供されるようになっている。上記のような予測微生物学に関する研究成果が蓄積されるにつれて、同様の菌種を用いて試験しているにも関わらず、その挙動に差異があることが明らかとなってきた。これは菌株の違いや細菌の生育段階の違いなど原因は種々考えられるが、最も重要なことは細菌の挙動はバラツキが大きいことを実際のデータを通して認識することにある。このような思想の元に、英国、米国が協力体制を整えて、それぞれが開発した PMP や FMM といった予測ソフトウェアに収録されている細菌挙動データを統合し、データベースとして Web 上で 2003 年から ComBase (コンベース <http://www.combase.cc>)という名前で公開し始めている(Baranyi and Tamplin, 2004)。さらに 2006 年には豪州タスマニア大学の食品安全センターも加わり、データベースの拡充が続いている。このデータベースの公開によって、世界中の人々が容易に微生物挙動データを検索収集することが可能となってきた。2021 年時点において運営母体は米国農務省農業研究センター (United States Department of Agriculture, USDA, Agricultural

Research Service (ARS)) となっている。

2021年11月現在、ComBaseに収録されているデータ数は、病原性細菌と腐敗細菌合わせて、58,850レコード以上である。その比率は8割が病原性細菌のデータである。目的とする細菌の種類、温度、pH、水分活性（食塩濃度）、さらには食品の種類を選択することで、対象となる細菌の増殖／死滅の経時変化データを検索することができる。Web上での検索、閲覧に加えて、必要に応じてデータをダウンロードして二次利用が可能である。ComBaseに収録されているデータは全て時間変化に伴う、細菌数の常用対数値（log₁₀ CFU/g or mL）であり、検索情報には菌数データのプロットと生データ、出典元、実験方法の詳細などが収録されている。ComBaseで最も有効性の高い部分は、多菌種（29種）の挙動データを網羅的に検索収集できる点である。また、検索条件として、菌種、温度条件、pH条件、水分活性条件（塩分濃度）等の条件に加えて、実際の食品におけるデータを絞り込むこともできる。

一方で、加工食品の製造・流通条件の設定においては、細菌を増殖させない条件設定が求めることが多く、増殖曲線を得ることよりもむしろ環境条件の組合せによって対象とする細菌を増殖させないための条件を見出すことが重要である。対象とする細菌の増殖／非増殖条件を検索可能とするデータベースがより多くの食品企業にとって重要な役割を果たすことが予想される。そこで、ComBaseに収録されているデータを増殖／非増殖データに変換してデータベース化し、環境条件における対象となる細菌の増殖速度の情報を等高線化したグラフで表現して、増殖／非増殖グラフと一体化して提供情報量を増大させたウェブツールがMRV (Microbial Responses Viewer, <http://mrviewer.info>) である(Koseki, 2009)。MRVでは現在16種類の細菌に対して温度、pH、水分活性の各要因の組合せにおける増殖／非増殖条件を検索することができるだけでなく、増殖の速さ（速度）に関する情報も同時に検索できる。MRVは食品業界が求める細菌を増殖させないための境界条件の環境条件を直接的に検索可能とする。さらに、MRVの特徴として、目的とする情報を容易に検索できるように、直感的、視覚的に情報を見出すことができるような設計となっている。

定量的リスク評価を実行支援するソフトウェア開発も進展している。アメリカ食品医薬品局（US-FDA）は2015年より無償で使用可能なFDA-iRISK® (<https://irisk.foodrisk.org>) と呼ばれるリスク評価支援ツールをウェブ上で公開している。FDA-iRISK®は種々のシナリオにおけるリスクの比較検討を、確率論的な不確実性をも考慮してウェブ上で実行可能であり、かつ結果をクラウド上に保存しておくこともできる。リスク評価の実行支援ツールとして、極めて有用なソフトウェアの一つである。

他にも世界中には様々な予測ソフトウェアが公開されており、目的に応じて

1 使用して、リスク評価あるいはリスク管理の資料として活用することができる。
2 現在使用できるソフトウェアの特徴は OpenML for Predictive Modelling in
3 Food websites (SourceForge, 2021), Tenenhaus-Aziza and Ellouze
4 (2015) および Koutsoumanis et al. (2016)に詳しくまとめられている。

5 確率論的な予測解析とその活用

7 従来多くの場合、微生物挙動の予測といえば、時間変化に伴う菌数の変化（増
8 殖や死滅）を数理モデルによって記述することを意味していた。これら時間変化
9 に伴う菌数変化については速度論的な解析として、前述したとおりである。速度
10 論的な解析は非常に重要な情報を我々に提供するが、対象が微生物を扱うとい
11 う特殊性から、しばしば実験結果との乖離や、繰り返し実験間の大きなバラツキ
12 といった問題に直面する。これらの背景には扱っている対象が化学物質ではな
13 く、微生物、すなわち生き物を扱っているという違いが大きく影響している。生
14 育環境が至適条件から離れて、増殖速度が小さくなってくると、微生物集団内
15 おける個々の細胞の挙動の違いが顕著に現れるようになり、結果としてバラツ
16 キが大きくなり予測精度が低下する。このようなバラツキは微生物の特性に由
17 来するもので、変動性として捉えられる。変動性はいくら実験を繰り返しても減
18 じることはできないが、データ取得のための実験に伴うバラツキは、実験を繰
19 返すことによって、あるいは測定機器の性能向上などによって減じることが可
20 能である(McMeekin et al., 2010)。このようなバラツキは Uncertainty（不確実
21 性）として認識され、変動性と不確実性とは区別して議論することがリスク評価
22 の分野では特に強調されている(Nauta, 2002; 2000)。変動性は減じることがで
23 きないので、従来の決定論的なモデル化手法では対応は困難であり、必然的にモ
24 デル開発も確率論的な手法へと移行しつつある。これは同一細菌種であっても、
25 菌株の違いや生育段階の違い、前培養条件の違いなど様々な要因によって影響
26 を受けることが報告されている。また、一般的には、細菌集団として、ある一定
27 数以上（例えば 10^3 CFU/ml 以上）の集団を対象として数理モデル化が図られる
28 ため、個々の細胞の挙動の違いが顕著に現れないが、少数の場合には個々の細胞
29 挙動の違いが顕著になり、結果として大きなばらつきを生じることになる。この
30 ように、速度論として微生物挙動を扱った場合には、これらの変動性や不確実性
31 といった問題を明示的に表現することは極めて難しい。何らかの確率的な表現
32 が必要である。

第7 用量反応

1. 概要

微生物に関する数学的な用量反応モデルは、特定の病原体が特定の集団に引き起こす影響（感染、発症、後遺症、死亡等）の確率を、病原体の摂取量（用量）の関数として表わすものである。微生物の場合、少数の病原体でも健康に影響を与えることを考慮する必要がある、直接影響を観察できないような低用量における影響を、大きな用量での観測から推測しなければならない、いわゆるモデルの外挿が求められる。また、病原体は食品中で均一に分布せず、偏って分布していることが多いことから、想定される確率分布により異なるモデルが想定され、病原体、食品の性質を反映した分布を考慮したモデルが必要である。さらに、実験可能な被験者集団の大きさの制限により、効果を偶然の変動と区別するためには確率論的モデルが必要であること。以下、詳細について解説する。

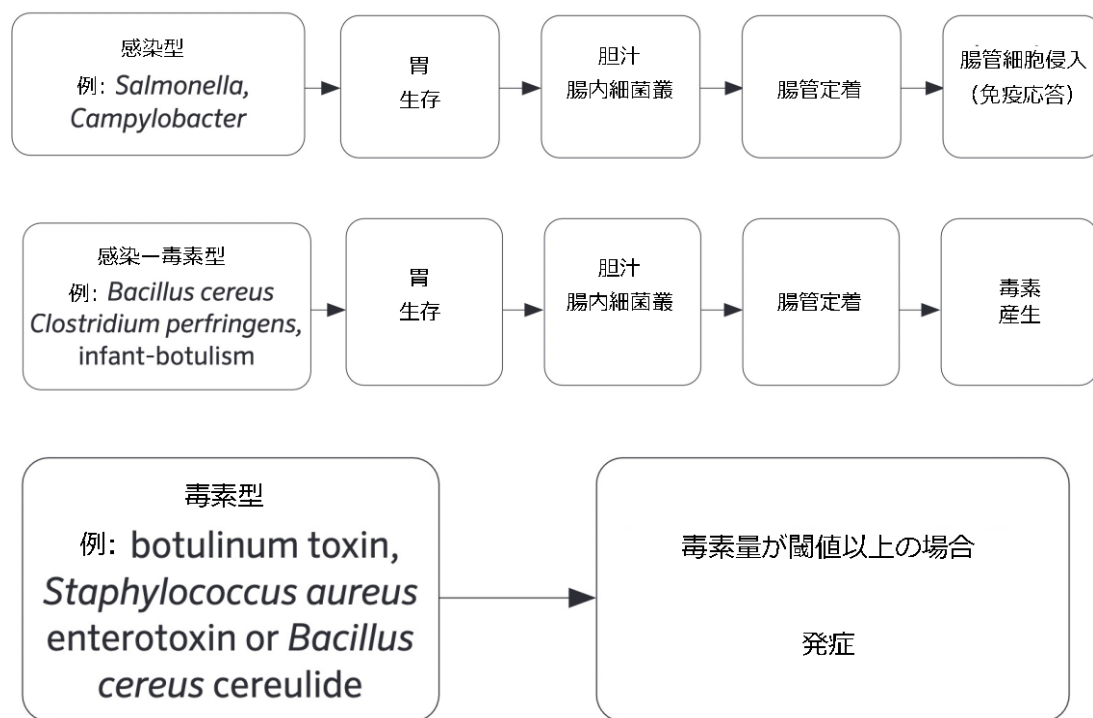
2. 確率論的な扱いの必要性

人体に及ぼす健康影響については、化学物質と病原性微生物とでは大きな相違がある。すなわち、化学物質の場合にはマイクロモル（ μmol , $\sim 10^{17}$ 個の分子数）レベルあるいはナノモル（ nmol , $\sim 10^{14}$ 個の分子数）レベルの低濃度の場合にも、十分に大きな粒子集団を扱うため、個々の分子の統計的なバラつきは問題にならない。一方、病原性微生物の場合には一個の病原体でも人体に影響を及ぼす可能性があることを考慮しなければならない。少数の病原体による影響を考える場合、統計的なバラつきが平均値に比べて無視できなくなり、確率論的な扱いが必要となる。

3. 用量反応の基盤となる感染症の発症過程

食品（飲料水を含む）に起因する微生物リスク評価における用量反応モデルは、感染・発症にいたるハザード、人（宿主）、食品マトリックスの相互作用から生じる生物学的な反応の結果を反映したものと考えることができる。図〇は、食中毒の発症型による、発症過程の違いを示している。たとえば、食品とともに摂取された病原体により人が感染するためには、人体のさまざまな防御機構による障壁を乗り越えねばならない。その障壁を乗り越える確率は病原体により、人により、食品により、またそれらの状態により変動する。特定の病原体、人、食品について特定の健康影響が生じる確率をあらわす用量反応モデルはその生物学的過程を表すものであるから、生物学的な基礎に基づくことが求められる。例えば、胃の生存率は宿主の胃の pH とハザードの耐酸性に依存する。毒素による中毒（セレウリド、ボツリヌス毒素、ブドウ球菌エンテロトキシンなど）の場合、連続した確率過程は存在せず、最小限の毒性量が存在し得る。これは感染性

物質ではなく、微生物が産生する毒性成分であるため、非常に低いレベルでは、いかなる人にも反応は起こらない (van Leusden, 2000)。これは、感染性生物あるいは発がん性化学成分と非発がん性毒素の本質的な違いである。感染性生物は感染の確率を、発がん性物質は発がんの確率を示し、どちらも投与量の増加に伴い確率が上昇するが、閾値は存在しない。他の毒素には閾値があり、この閾値は、感染性生物の感染確率と同じように宿主に依存する。その違いは、閾値以下では、最も敏感な人でも中毒になる確率はゼロであるのに対し、感染性生物や発癌性物質では、たとえそれが極めて小さい場合でも、どの用量でも常にゼロではない確率が存在することである。その結果、大きな集団の中では、非常に小さな確率であっても、実質的な公衆衛生上の負担を生じさせることになりかねない。感染性生物と発癌性物質（ゼロの確率は存在しない）と微生物毒素と非発癌性または非遺伝毒性化合物（閾値以下ではゼロの確率が存在する）の間のこの区別は重要である。



図〇. 食中毒細菌による食中毒の主な発生過程

4. シングルヒット仮定

病原性微生物の感染確率の考え方の基盤として、いわゆる閾値が存在せず、単一の病原体でも感染を起こす可能性がゼロではない、と考えるシングルヒット

1 仮定がある。この仮定に基づけば、一つの病原性微生物細胞が食事とともに体内
 2 に摂取された後、消化管内における種々の過程を乗り越えて生存し、腸管細胞に
 3 侵入感染する確率 p はゼロではない。したがって、病原体に感染しない確率は
 4 $1-p$ となる。仮に 2 個目の病原体が摂取され、それぞれの病原体が独立して作
 5 用すると仮定すると、感染しない確率は $(1-p)^2$ となる。一般化して、 n 個の病
 6 原体を摂取した際に感染しない確率は $(1-p)^n$ と記述できる。したがって、 n 個
 7 の病原体を摂取した際の感染確率 $P(Inf)$ は以下のように記述できる。

$$P(Inf \mid n, p) = 1 - (1 - p)^n$$

11 この仮定に基づき複数の用量反応モデルが提案されている。そのうちでよく用
 12 いられるのが指数モデルとベータ・ポアソンモデルである。
 13 摂取される病原性微生物細胞がランダムにポアソン分布に則っていると仮定し
 14 た場合、以下の指数モデルとして記述できる。

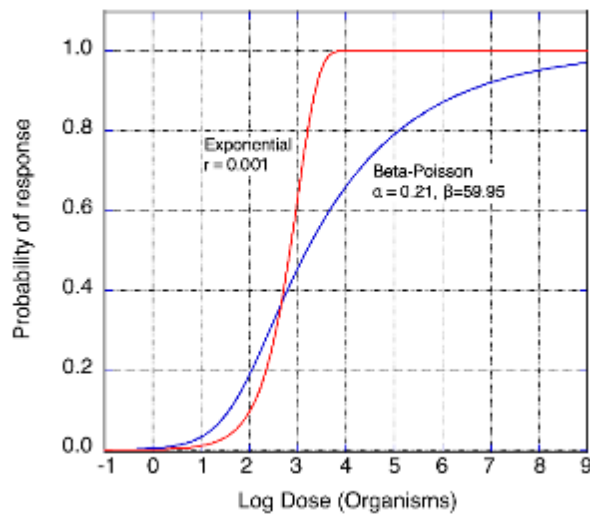
$$P(Inf \mid D, r) = 1 - \exp(-rD)$$

18 ここで、 D は摂取菌数（実数）、 r は細胞個々の感染確率がいずれの細胞でも同
 19 様であると仮定した感染確率を示す。

20 ここで、シングルヒット仮定における個々の細胞の感染確率が異なり、その確
 21 率分布がベータ分布に従うと仮定した場合、以下のベータ・ポアソン分布として
 22 近似して記述できる。

$$P(Inf \mid D, \alpha, \beta) \approx 1 - \left(1 + \frac{D}{\beta}\right)^{-\alpha}$$

25 ここで、 D は摂取菌数（実数）、 α と β は微生物種に固有の推定パラメータで、
 26 $\alpha \ll \beta$ かつ $\beta \gg 1$ の場合には厳密なベータ・ポアソン関数と等しくなる。



図〇. 用量反応モデル（指数モデル及びベータ・ポアソンモデル）

2022年現在において報告されている病原性細菌の用量反応モデルのパラメータを表〇にまとめた。

<表〇挿入予定>

5. Key Events Dose-Response Framework: 新たな用量反応モデル構築手法

従来の食中毒細菌のリスク評価では、評価の核となる摂取菌量と感染確率との関係を表す従来の用量反応モデルは以下のいずれかのデータが用いられる。

- ① 食中毒事故発生時の推定データ
- ② ヒトのボランティア試験データ
- ③ 動物実験データ

いずれのデータを用いたとしても、構築されたモデルは非常に多くの仮定と運用上の外挿（予測モデル構築データの範囲外への予測）が避けられない。例えば、菌株の違いや個人の感受性の違いなどはモデルに考慮することはできない。また、通常細菌由来の食中毒は急性の中毒であると仮定されるが、1-2日間の蓄積的な影響かもしれない、といったことも考慮できない。加えて非常に重要な外挿事例としては、モデルの高用量（多い菌数）域から、低用量（少ない菌数）を推定する点である。しかし、これらの問題点は、現状の原因（摂取菌量）と結果（感

染確率)とを単純に結びつける数式化(モデル化)では避けられない。

上述のように、現状の用量反応モデルには多数の問題があるのは明白で、これらの問題を克服するためには、原因と結果の過程にある生物としての細菌と人間との関係に於ける生理生態をより深く理解して、その知見を変動性として予測モデルに組み込むことで、より現実的な予測を可能とする用量反応モデルの構築につながる。

従来の用量反応モデルでは適切に推定できなかった低用量反応の部分の予測、さらにはその他の種々の変動要因をも考慮して予測可能とするために Buchanan et al. (2009) が提唱した Key Events Dose Response Framework (KEDRF) の概念を用いた新たな用量反応モデルを構築する



図〇. Key Events Dose Response Framework (KEDRF) に基づく感染型食中毒細菌の Dose-Response モデル構築の概念図 (Buchanan et al., 2009)

(図〇)。KEDRF とは、汚染食品を摂食してから腸管内での感染が成立するまでの鍵となる人体内での生体反応 (Key Events) 毎に評価する考え方である。反応過程が不明であった従来の用量反応モデルから脱却して、Key Event 毎での生存/死滅確率を推定し、感染確率を予測する数理モデルを開発することで、従来評価できていなかった用量反応機構の一端を明らかにして、現実の生体反応に基づく信頼性の高いロバストな感染確率の予測を可能とする。

2022年1月時点で、胃消化過程での病原性細菌の死滅挙動の予測推定 (Koseki et al. 2011; Koyama et al, 2021; Takeoka et al. 2022)、腸内細菌との競合条件下での病原性細菌の増殖挙動の推定 (Fuchisawa et al., 2021)、小腸上皮細胞へのカンピロバクターの侵入予測 (Abe et al., 2021a) 可能となっており、さらには既往の文献情報から KEDRF の概念を再現構築して、カンピロバクターの感染確率を予測する新たな用量反応モデルが開発されている (Abe et al., 2021b)。

今後の新たな用量反応モデル構築の手法として発展が期待される。

第8 感度分析

複雑なリスク評価には、連立方程式または他のモデル構造によってリンクされている多くのインプット変数とアウトプット変数が含まれる場合がある。感度分析はリスク評価の構成要素のリスク管理の諮問に対する相対的な重要性について、リスク評価者とリスク管理者に洞察を提供できる幅広いツールセットである。重要なコンポーネントのもっともらしさは、リスク評価の全体的な品質上不可欠である。重要なコンポーネントの変更は、これらのインプットのリスク管理の諮問への回答に対する効果の観点からも表現できる。

感度分析の重要な基準は、それが意思決定に関連している必要があるということである。感度分析は、モデルのインプット値及び仮定のアウトプットの変化に対する影響、さらに、モデルアウトプットに基づく決定を評価する。モデル開発中にモデルのパフォーマンスを評価および改善するために用いることができる。また、モデルの検証及び妥当性確認において重要な役割を果たすことができる。感度分析は意思決定時のモデルの結果の堅牢性を洞察するのに用いられることもある。

感度分析は、リスク軽減戦略またはモニタリングポイントの特定にも役立つ。また追加のデータ収集または研究の優先順位をつける目的でのリサーチ活動の焦点を絞ることに使える。(Lamboni, Sanaa, Tenenhaus-Aziza, 2014)。これらの目的のために、情報の価値 (Laxminarayan および Macauley, 2012) 分析は、感度分析方法を補完することができる。

モデルのインプットとアウトプットの関係は、感度分析手法の効果的な適用のためには1対1であるべきである。理想的には、感度分析法は鍵となるインプットのランク順だけでなく、いくつか感度の識別的定量的尺度を提供するべきである。その結果、さまざまなインプットの相対的な重要性を明確に区別できる(相関など)。

回帰分析や分散分析 (ANOVA) などの統計ベースの方法は異なるインプットの相対的な重要性の定量的指標を生成する、例: 正規化または標準化された回帰係数の使用。さらに、回帰分析などの手法も、回帰係数の場合、信頼区間に基づく、インプット間の感度の差の統計的有意性の指標を提供する。

しかし、統計的検定は特に反復回数が多い場合、非常に小さな効果を検出でき、したがって、重要な影響は、その実務的な重要性(すなわち、リスク管理の決定に影響を与えるのに十分な大きさの効果なのか?) について評価する必要があることに注意すべきである。

使用されるリスク評価アプローチに関係なく、適切に構築された what-if シナ

リオの有用性を過小評価すべきではない。例えばさまざまな異なるばく露経路
または用量反応をカバーするモデル。

1. 定性的リスク評価における感度分析

ハザードと健康への悪影響との関連を調べる際に、証拠が弱い、中程度か、
説得力があるかを判断するために広く受け入れられている基準（例：ヒルの因果
関係の基準）を設定する（例：Tomatis, 1990）。記述的な基準は本質的に主観
的なものである可能性があるため、再現するのは困難である。しかし、基準を客
観的に評価できる範囲において、同じ情報を使用する異なる評価者は、独立して
基準が満たされているかどうかの判断を再現できるべきである。

例えば、因果関係の証拠の重みは、関連性の検出が複数のソースから独立して
報告されている時、関連性の強さが病原体へのばく露のレベルに関係している
時、又はハザードが観察された効果の変化に先行する時に強くなる。そのような
基準が満足かを判断するには、科学的証拠が必要である。定性的なリスク評価の
結果の関連性について、証拠の蓄積、または矛盾する証拠に対して不変である場
合は、そして、因果関係を評価するための確立された基準に対して、評価は感度
は低いことになる。たとえば、定性的なハザードの特性評価において、急性の健
康の基準のみに基づく評価は、既知の慢性後遺症に関する情報に感度が低い可
能性がある。あるいは、定性的なハザードの特性評価において、まれにしか急性
な疾患を起こさない日和見病原体に関連する慢性後遺症に関する弱い証拠に対
して非常に敏感である可能性がある。

定性的リスク評価で病原体が特定の環境条件下において増殖しないという仮
定に基づいて、無視できるリスクをもたらすと判断された場合、その後その病原
体はこれらの条件で増殖することができるという新しい情報が示唆された場合、
この新しい情報に対する当該リスク評価の知見の感受性は事前に指定された基
準に依存するかもしれない。

そのような基準は、結果が独立して繰り返されたか、方法が査読されたかに基
づくかもしれない。最低限、定性的リスク評価の特徴づけのための科学的根拠と
基準は、新しい情報またはもっともらしい代替の仮定の効果の評価を可能にす
るために、十分に透明である必要がある。

2. 定量的リスク評価における感度分析

定量的リスク評価モデルの感度分析には、いくつかのアプローチがある。
Saltelli ら (2008)、Frey ら (2003; 2004) は、以下に要約されているトピック
の徹底的な調査結果を提供している。

(1) 統計的手法

統計的感度分析手法(分散ベースの手法とも呼ばれる)の例には、順位相関、回帰分析、ANOVA、応答曲面法、フーリエ振幅感度検定(FAST)、相互情報量インデックス(MII)、分類および回帰ツリーが含まれる。これらの方法のほとんどは、モンテカルロシミュレーションと組み合わせて、またはモンテカルロシミュレーションの後に適用される。回帰分析、ANOVA、FAST、および MII は、各インプットの感度の定量的測定値を提供する。回帰分析では、モデル形式の仮定が要求される。

(2) Graphical methods

グラフィカルな方法は、通常、散布図やスパイダープロット(定量的確率論的リスク評価事例 Bloody Clam 中の腸炎ビブリオ評価参照)などのグラフの形式で感度を表す(Eschenbach, 1992; Frey, Mokhtari and Danish, 2003)。他の感度分析方法の結果も、グラフで要約することができる、例えば順位相関を表示するための竜巻チャート。これらの方法は、モデルをさらに分析する前のスクリーニング方法として、またはインプットとアウトプットの間の複雑な依存関係を表すために使用できる。例えば、このような複雑な依存関係には、他の手法では適切に捕らえられない可能性のある、しきい値や非線形性が含まれる可能性がある。

(3) 感度分析手法の評価

各感度分析手法は、インプットの共同効果と個々の効果、インプットの小さな摂動と変動範囲の効果、または分散と相互情報量の配分など、インプットの感度に関するさまざまな情報を提供する(たとえば、Frey, Mokhtari and Zheng, 2004 の表 5-1、以下の表○を参照)。スピアマンの順位相関などのノンパラメトリック手法は、単調な非線形モデルに適用できる。Vose (2008) は、モデルアウトプットの不確実性に対する個々のインプット変数の影響を示すためにスパイダープロットの使用を推奨している。複数の方法間の一致は確固たる発見を意味するため、実行可能な場合は 2 つ以上の異なるタイプの感度分析方法を適用すべきである。これにより、各方法の結果を比較し、主要なインプットのランク付けの堅牢性について結論を導き出すことができる。

1 表〇. Frey, Mokhtari and Zheng (2004) の表 5-1

Table 5-1. Summary of Key Characteristics of Selected Sensitivity Analysis Methods

Characteristic	Sensitivity Analysis Method													
	NRSA	DSA	Correlation		Regression		ANOVA	CART	FAST	Sobol	RSM	MII	SP	CSA
			Sample	Rank	Linear	Rank								
Simultaneous Variation	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Non-linearity	No	No	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Threshold	No	No	No	No	No	No	Yes ^c	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes
Interaction	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Qualitative vs. Quantitative inputs	No	No	No	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
High Exposure	No	No	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes
Two-Dimensional Analysis	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
Ease of Implementation	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No	No	No	Yes	No
Quantitative Ranking of Inputs	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No ^a	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
Measure of Statistical Significance	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
Discrimination of Important Inputs	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No ^b	No
Robust in Practice	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

^a A method for ranking the input based upon the contribution of each input to reduction in total deviance was explored and is promising for future development

^b Can be based upon expert judgment

^c Depends on proper definition of factor levels

NRSA: Nominal Sensitivity Analysis DSA: Differential Sensitivity Analysis ANOVA: Analysis of Variance CART: Classification & Regression Tree
CSA: Conditional Sensitivity Analysis RSM: Response Surface Method MII: Mutual Information Index SP: Scatter Plots
FAST: Fourier Amplitude Sensitivity Test

2

3

第9 不確実性と変動性

1. 不確実性

不確実性はすべての種類のリスク評価に内在している (Morgan & Henrion, 1990)。ほとんどの場合、観測対象について不十分な情報しかなく、またモデルの入力値についての情報も不足あるいは全く存在しないこともあるため、モデルの入力値を正しく定量することは困難である。リスク評価の妥当性はそれぞれの値（または分布）が対象のモデル変数の真の値（または分布）をどの程度正しく代表できているかに依存する。一般に、不確実性は知識や情報を蓄積することによって小さくすることができるため、科学的知見の蓄積を不確実性の減少に役立てるという観点からは、非常に重要である。以下に不確実性の例を挙げる。

(1) 実験データの代表性に関する不確実性

リスク評価に用いるデータが、対象とする事象をどの程度適切に代表しているか、そのデータ数、データの質が不確実性として挙げられる。

i. 統計分布の選択に関する不確実性

データを説明するために使用する確率分布（例えばポアソン分布や対数正規分布）の選択は、リスク評価結果に影響を及ぼしうる不確実性である。複数の分布がデータに対し同等の適合度を示す場合もあり、入手可能なデータや対象システムについての知識から判断して、選択した分布が妥当であること説明することが重要である。それぞれの分布に対し QMRA を行い、結果への影響を調査することが望ましい。もし分布の選択がリスクの評価結果に重要な影響を与えることが判明したら、どの分布がより代表性があるかを判断するためさらにデータを収集することが妥当であるかもしれない。

ii. パラメータ推定に関する不確実性

一般にモデルのパラメータ値は観測されたデータ（観測値）を用いて推定される。この推定パラメータのばらつき（フィッティング時に生じる不確実性）を説明するために、ベイズ推定 (Koyama et al., 2019) やブートストラップ法 (Abe et al., 2020) が用いられる。計算技術として、不確実性と変動性とを区別して予測評価することが可能となっている。

iii. 測定手法に関する不確実性

<不確実性の参照>

Koyama, K., Aspridou, Z., Koseki, S., Koutsoumanis, K., 2019. Describing

1 Uncertainty in Salmonella Thermal Inactivation Using Bayesian Statistical
2 Modeling. *Frontiers in Microbiology*
3 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02239>
4

5 Abe, H., Koyama, K., Takeoka, K., Doto, S., Koseki, S., 2020. Describing the
6 Individual Spore Variability and the Parameter Uncertainty in Bacterial
7 Survival Kinetics Model by Using Second-Order Monte Carlo Simulation.
8 *Frontiers in Microbiology* 11, 985. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00985>
9

10 2. 変動性

11 リスク評価における入力情報（値など）や推定結果の「ばらつき」の原因は変
12 動性と不確実性の2種類に分けることができる。どちらも確率分布として記述
13 できるため、混同されることが多い。しかし、両者は明確な意味を持ち（Haas,
14 Rose and Gerba, 2014; Nauta, 2000; Vose, 2008）、リスク管理者とリスク評価
15 者がこれらの概念を共通理解することは、リスク評価プロセスに大きく貢献す
16 ることが期待できる。

17
18 変動性とは、観測対象物そのものに本来的に存在している差異や変動に起因
19 する「ばらつき」である。時間または空間的な差異や変動、あるいは個体間に存
20 在する異質性（個体差）による「ばらつき」などから生ずる、と説明されること
21 が多い。より多くのデータを収集することで、その要素の変動性をよりよく表現
22 できるようになるが、変動性を小さくすることはできない。より理解を深めるた
23 めに具体例をいくつか挙げる。

24 (1) 食品原材料となる農産物中の病原体濃度

25 圃場土壌中の病原体濃度は、地質水文学的条件、地形、気候、土地利用や上流
26 域の糞便汚染源の有無、堆肥の使用状況などのさまざまな要因により、異なる地
27 点間あるいは同一地点内であっても変動する。同一の地点であっても、野生動物
28 の侵入汚染、未完熟堆肥の施用、病原体の移動を引き起こす環境イベント（例え
29 ば降水に伴う流出や地下浸透）、さらには季節的な気象条件（気温、日射量など）
30 により時間的に変動する。したがって、食品原材料となる農産物中の病原体汚染
31 濃度は、長期間にわたり継続的にデータ収集したとしても、「ばらつき」を減じ
32 ることはできないが、どの程度ばらつくか（変動するか）、を統計的に説明する
33 ことはできるようになる。
34

35 (2) 細菌細胞ごとの個体差

36

同一菌種・菌株の細菌を同一の培養条件で培養した細菌細胞を対象としても、個体数が少ない場合 (< 10~100 個) には、個々の細菌細胞の個体差が顕著に現れ、増殖あるいは死滅挙動に大きなばらつきを生じる (図〇参照)。このばらつきは、細菌細胞毎の個体差に由来するので、実験回数を増大しても減じられることはない。したがって、少ない菌数の増殖／死滅を議論する際には、個体差に由来するばらつき (変動性) を十分に考慮すべきである。通常の試験研究の実験条件のように個体数が多い場合 (> 10³ 個) には、個々の細菌細胞の振舞いは集団内に埋もれてしまい、ばらつきは小さく見えているだけであり、ばらつきが減っているわけではない。

(3) 菌株の違いによる差

同一菌種の細菌においても菌株が異なることで、増殖特性や環境耐性が異なる。この差異も実験回数を増大しても減じられることはない。例として *Listeria monocytogenes* の 20 菌株の耐熱性の違い (Aryani et al., 2015) と *Campylobacter jejuni* の 11 菌株の耐酸性の違い (Koyama et al., 2021) を示すが、いずれも相当の違いがあり、菌株の違いによる細菌挙動のばらつき (変動性) はリスク評価においては十分に考慮すべき事項である。

< 変動性の参照 >

Aryani, D.C., Besten, H.M.W. den, Hazeleger, W.C., Zwietering, M.H., 2015. Quantifying variability on thermal resistance of *Listeria monocytogenes*. Int J Food Microbiol 193, 130–138.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.10.021>

Koyama, K., Ranta, J., Takeoka, K., Abe, H., Koseki, S., 2021. Evaluation of Strain Variability in Inactivation of *Campylobacter jejuni* in Simulated Gastric Fluid by Using Hierarchical Bayesian Modeling. Appl Environ Microb 87, e00918-21. <https://doi.org/10.1128/aem.00918-21>

第10 リスク評価に必要なデータ及びデータソース

1. データの収集源

利用可能な情報として、以下のようなものが挙げられる。

(1) 食品衛生法に基づく食中毒統計及び食中毒詳報等の関連報告書

集団食中毒の発生傾向として、一定の指標となるデータである。事件数、患者数の多い病原体、あるいは近年増加傾向の急激な病原体とその原因食品を分析する。

食中毒（食品由来疾患）及び共通感染源による水系感染症が発生した場合、一般的には疫学調査及び微生物検査が行われ、感染源を特定し、さらなる患者発生を抑え、将来的に問題を予防する方法についての勧告を提供することになる。このような情報は、ハザードの特定やハザードの特性解析のために特に有用である。

(2) 感染症法に基づく感染症サーベイランス関連の報告書及び集計データ

経年変化において急激な変化が認められた場合には、食品衛生法による食中毒統計と比較しつつ、分析する。一方、ハザードによっては、感染症法による報告数の方が食中毒統計の患者数よりも多いので、比較検討する。ただし、食品を媒介としない感染事例も含まれている場合もあり、ヒト－ヒト間の感染の割合を考慮する必要がある。

(3) 国内外の食品安全関連情報

各国及びいくつかの国際機関は、食品や水によって感染するものを含む感染症／人獣共通感染症の健康統計をまとめている。これらの統計に含まれるデータは、多くの場合において発生の特定と調査を目的とし、具体的な食品、病原体、消費者等に関する記述が収集されている。

また、食品安全委員会やリスク管理機関が収集した国内外の食品安全関連情報や、国内外の研究機関等により作成されたリスクプロファイルや予備的リスク評価事例、及び食品媒介感染に関連した論文（食品媒介感染事例、汚染実態調査）等、又は新聞等のメディア情報等も参考とする。

なお、海外機関が有する食品安全迅速警報システムは、各国の食品・飼料管理当局が、食品に関連して検出された重大なリスクに対応するための措置に関する情報を共有することを可能にし、その結果、ハザードの特定に有用な情報を提供することができる。例えば欧州の RASFF のシステムは、食品に起因す

る健康への脅威に対応するために、各国がより迅速かつ協調的に行動するのに役立つ。

2. 評価の実施に必要なデータ

評価では、様々なデータ収集源から情報を収集することになり、その中には多くの国で共通しているものもある。科学論文では、調査対象となっているテーマの詳細がよくわかることが多く、データがどのような条件で得られたか、使用された方法について詳しく文書化されていることが多い。一方で、公表された研究の欠点として、多くの場合、生データではなく集計データが公表されていることと、生データへのアクセスが困難な場合があることが挙げられる。

ハザードの特定やハザードの特性評価には、症例の対照研究やコホート研究等の疫学調査によるデータも有用である。

ばく露評価には、様々な段階での対象微生物の汚染率（有病率）や数／濃度を報告する研究や、加工介入の効果などのデータが有用である。また、食品加工環境におけるハザードの交差汚染（二次汚染）がどの程度発生しているかを把握するためには、データとモデルが必要とされる。データには、保存の時間と温度、典型的な取り扱い方法と調理中に発生する可能性のある交差汚染（二次汚染）、交差汚染（二次汚染）が発生する範囲や厨房内のさまざまな場所に移行する可能性のある微生物量、消費者が移動する間に微生物に晒される範囲、典型的な調理時間と温度などの関連する詳細な記述を添付する必要がある。

用量反応関係に関する情報を得るためには、管理された条件下でヒトを病原体にばく露することであり、ボランティアを用いた摂取試験が実施されているハザードもあるが、限定的である。

なお、動物実験は、人のボランティア試験によって生じる倫理上の制限を克服するために使用される。用量反応関係の確立を含め、食品由来疾患や水系感染症の特徴に影響を与えるハザード、宿主、食品関連因子等を理解するために広く使用されている多種多様な動物モデルがある。

データは可能な限り多くの情報を網羅するために幅広くデータを収集する。

データの使用の際には、データの精度・信頼性を確保するために、可能な限り査読を受けて発表された科学論文におけるデータや、リスク管理機関を含む公的機関から公表されたデータを使用するように努めるが、未発表のデ

ータや関連ステークホルダーの所有するデータも、適切と認められるものは評価に使用するものとする。

FAO/WHO ガイダンス (2021) には、以下の表○のような「評価の実施に必要なデータの種類とその収集源の概要」がまとめられているので、以下にその概要を示す。

表○評価に必要なデータ及びデータ収集源

データのタイプ	主な内容	データ収集源
ハザードの特定		
ばく露と健康への有害影響の関連性	食品と微生物等のハザードを対にして、特定の食品におけるハザードのばく露が人の疾病に関連付ける際に使用することのできる根拠	・食中毒データ ・食品由来疾患サーベイランス及び年次の健康統計 ・食品安全に係る迅速警報システム ・文献：分析的疫学研究 ・系統的食品汚染モニタリング調査
微生物等ハザードの特性	生物の特徴やその生物が宿主に与える影響についてメカニズムを記述し、ハザード特性評価では詳細な用量反応解析を行う。	・文献：微生物学研究
食品の一般的な特徴と供給チェーンの条件	食品の本質的特性（例：pH、水分活性）とプロセス評価（例：時間、温度）	・産業（業界）データ及び文献。製品及び食品供給チェーンの説明
ばく露集団における健康被害	人口統計学的及び/又は社会経済的要因による集団及び	・科学文献及び医学文献
ばく露評価		
有病率及び汚染濃度（率）	評価の開始時点及びフードチェーンの他のポイントにおける食品中のハザードの有病率、汚染濃度(率)に関するデータ	・系統的な食品汚染モニタリング調査 ・文献：有病率、汚染濃度(率)調査、専門家の知識喚起（EKE）
処理条件	ハザードの蔓延と濃度に影響を与える可能性のある食品加工の条件を記述したデータ（例えば、加熱処理の時間温度、発酵、分割など）	・文献：製品と供給行程の記述 ・産業データ：製品と供給行程の記述 ・EKE
処理段階及び/又は介入の効果	処理段階/介入が病原体の有病率、汚染濃度(率)に及ぼす影響に関する	・文献。介入研究 ・EKE

	<u>るデータ</u>	
<u>製品の特徴</u>	<u>保存中のハザードの挙動に影響を与える可能性のある食品の特性 (pH、水分活性、抗菌剤の濃度、包装 atmosphere、使用期限など) に関するデータ</u>	・文献：製品と供給行程の記述 ・産業データ：製品と供給行程の記述 ・EKE
<u>流通・保管状況</u>	<u>小売・国内レベルでの食品の流通・保管の時間温度データ</u>	・文献 ・産業データ：製品と供給行程の記述 ・EKE
<u>食品の取り扱いと調理の条件</u>	<u>ハザードの有病率、汚染濃度(率)、や濃度に影響を与える可能性のある食品の取扱いや調理の条件を記述したデータ (調理の時間温度、仕切りなど)。</u>	・文献：交差汚染、食品の取扱いと調理 ・EKE
<u>ハザードの挙動・動態</u>	<u>食品加工、流通、補完、取扱い、調理中のハザードの生育(増殖)/生存/不活化の動態データ</u>	・微生物学的予測モデル・モデリング - オンラインツール
<u>消費(喫食)</u>	<u>母集団別 (健常者、影響を受けやすい人、妊娠中の人など) の摂取量データ、年間摂取量のデータ</u>	・全国消費データベース ・トータルダイエツトスタディ ・EKE
<u>人口区分</u>	<u>階層別人口データ</u>	・国政調査
<u>食品の年間生産量</u>	<u>その国で生産された食品の重量並びに輸入情報(必要に応じ)データ</u>	・全国の食料生産統計
<u>リスクの判定</u>		
<u>食中毒の年間症例数</u>	<u>評価とモデルの定着及び/又は検証に使用されるデータ</u>	<u>食中毒調査と年間健康統計</u>

1

FAO/WHO ガイダンス (2021) から引用、作成。

2

第1_1 評価事例

1. 評価事例の代表例の概要

(1) 半定量的水産食品安全リスク評価

Semi-quantitative seafood safety risk assessment

著者：John Sumner, Thomas Ross

出典：International Journal of Food Microbiology, 77 (2002), 55– 59

【概要】

10 のシーフードハザード/製品の組み合わせの半定量的リスク評価の一部として、リスク評価ツールを使用し、リスクランキング（以下「RR」とする。）を作成した。このツールはスプレッドシートソフトウェア形式であり、リスク推定を提供する。リスクは0から100の数値で表され、0はリスクがないことを表し、100はすべての食事に致死量のハザードを含むことを意味する。このランキングに基づいて、オーストラリアのシーフードは3つのリスクカテゴリーに分類された。

ランクが32未満のハザード/製品ペアには、水銀中毒（相対リスク=24）、缶詰の魚のボツリヌス菌（RR=25）、または真空パックされた冷燻製魚（RR=28）のボツリヌス菌、寿司/刺身の寄生虫（RR=31）、汚染されていない海域の貝類（RR=31）、輸入された調理済みエビの腸内細菌（一般的な豪州の国民）（RR=31）、および管理された水域のバイオトキシン（RR=31）が含まれた。上記のいずれのハザード/製品の組み合わせからも、オーストラリアにおいて食中毒の事例は記録されていない。ランキング32～48には、調理されたエビの腸炎ビブリオ（RR=37）、調理されたエビのコレラ菌（RR=37）、冷燻製シーフードのリスティア菌（RR=39）、スコンプロトキシン（RR=40）、カキの *Vibrio vulnificus*（RR=41）、一般的なオーストラリアの人におけるシガテラ魚（RR=45）、感受性集団の（RR=45）と非常に感受性の高い集団（RR=47）における *Listeria monocytogenes*、感受性の高い消費者が食べる調理済みエビ中の腸内細菌（RR=48）が含まれた。このカテゴリーのほとんどすべてのハザード/製品ペアは、オーストラリアでの食中毒の発生が報告されていた。ランキングが48を超えるハザード/製品のペアには、影響を受けやすい海域（サンゴ礁エリア）での遊漁釣りでのシガテラ魚（RR=60）、汚染された水域由来の貝類のウイルス（RR=67）、および制御されていない水域における有毒藻類イベント（RR=72）が含まれた。このカテゴリーでは貝類に含まれるウイルスと生物毒素、オーストラリアの温水の沿岸地域で蔓延しているシガテラ中毒など、重大な（>100件の）食中毒事件が報告されていた。

【結果】

Risk Ranger (Excel を用いたスプレッドシートモデル) を用いた半定量リスク評価の結果は表のとおり。なお、相対リスクの差6が絶対リスクでは10倍のリスクの違いとなる。

Table 2
Risk rankings of hazard/product pairings of significance for the Australian seafood industry

Hazard/product pairing	Selected population	Risk ranking
Ciguatera in reef fish	General Australian population	45
Ciguatera in reef fish	Recreational fishers, Queensland	60
Scombrototoxicosis	General Australian population	40
Algal biotoxin in shellfish-controlled waters	General Australian population	31
Algal biotoxin—during an algal bloom	Recreational gatherers	72
Mercury in predaceous fish	General Australian population	24
Viruses in oysters—contaminated waters	General Australian population	67
Viruses in oysters—uncontaminated waters	General Australian population	31
<i>V. parahaemolyticus</i> in cooked prawns	General Australian population	37
<i>V. cholerae</i> in cooked prawns	General Australian population	37
<i>V. vulnificus</i> in oysters	General Australian population	41
<i>L. monocytogenes</i> in cold-smoked seafoods	General Australian population	39
<i>L. monocytogenes</i> in cold-smoked seafoods	Susceptible (aged, pregnant, etc.)	45
<i>L. monocytogenes</i> in cold-smoked seafoods	Extremely susceptible (AIDS, cancer)	47
<i>C. botulinum</i> in canned fish	General Australian population	25
<i>C. botulinum</i> in vacuum packed smoked fish	General Australian population	28
Parasites in sushi/sashimi	General Australian population	31
Enteric bacteria in imported cooked shrimp	General Australian population	31
Enteric bacteria in imported cooked shrimp	Susceptible (aged, pregnant, etc.)	48

表〇 (Table 2) に示すように、ハザード/食品(製品)と対象集団 (Selected population) をリスクに応じてランク付け (Risk ranking) した (0=リスクなし、100=死亡)。

【結論】

このリスク特性解析モデルにより、迅速に、おおまかなリスクの推定をすることができ、リスク管理者がハザード/製品の組み合わせについて、より集中的なリスク評価研究を行うべき優先順位をつけることができる。また、タイムリーに“what if”シナリオに対応でき、それはリスク管理者及び関連する人にとって有益であると考えられる。

(2) 定量的リスク評価の事例

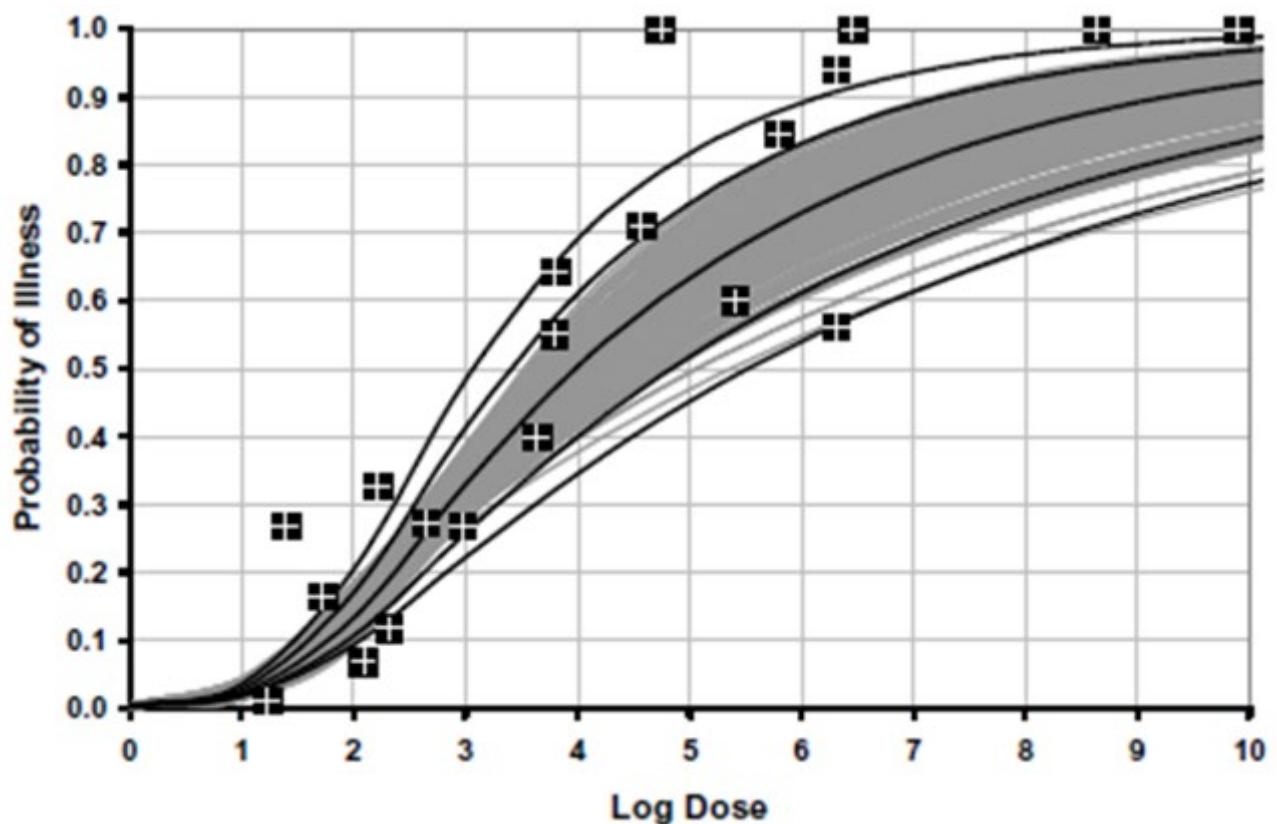
①FAO/WHO: Risk Assessments of Salmonella in Eggs and Broiler Chickens-
2. Microbiological Risk Assessment Series 2. 2002

FAO/WHO の「鶏卵及び肉用鶏におけるサルモネラリスク評価書」では、ベータポアソンモデル(方程式)に、日本の食中毒調査（国内の食中毒事例において摂取菌量が推定できた事例データ）を用いて、以下の図○に示す用量反応曲線を作成した。

なお、FAO/WHO では、このようなサルモネラ等の侵襲性病原体の用量反応関係については、生物学的な閾値が存在しないという広く受け入れられた過程を採用している。

ハザード特性解析

日本の食中毒調査データに基づき、用量反応曲線の作成が作成された。Upper bounder, lower bounder, 2.5 パーセンタイル、95 パーセンタイル 及び期待値が示されている。Expected value のベータポアソンモデルの α 、 β 値は 0.1324、51.45 であった。

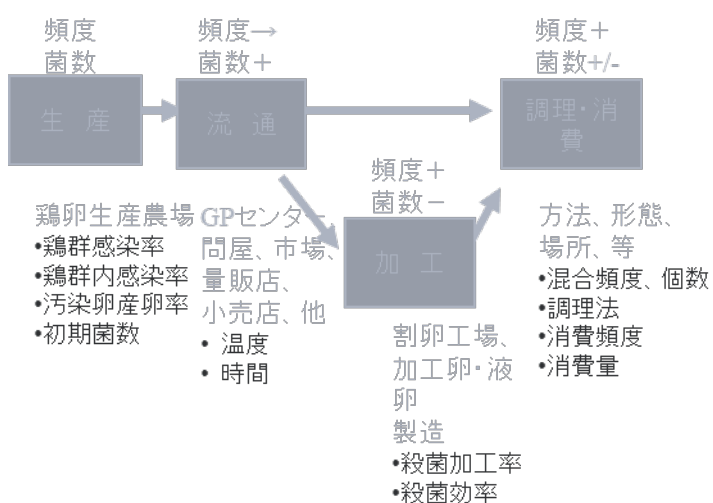


図○. サルモネラの用量反応曲線

図○の用量反応曲線の横軸は摂取量 (Log Dose)、縦軸は発症確率を示している。曲線は上から Upper bounder、95 percentile、expected value、2.5 percentile、及び、lower bounder の順に示してある。■は実測データで、低～中程度の摂取量でモデルによく当てはまっている。

ばく露評価

ばく露評価で生産（鶏卵農場）から流通（GP センター、問屋、市場、量販店、小売店）さらに直接調理消費と割卵工場での加工後の調理消費をモデル化し、各段階での黒字で記載したデータをインプットした。



図○. 生産（鶏卵農場）、流通（GP センター、問屋、市場、量販店、小売店）さらに調理・消費までの経路と割卵工場での加工後の調理・消費までの経路モデル

リスク特性解析

リスク特性解析とばく露評価を組み合わせ、リスク特性解析を行った。鶏群の汚染率が5%で、卵の保管中の時間の温度のシナリオが reduced（温度低く、保管期間も短いシナリオ）で最も低く 0.00002%（喫食機会 1 千万回あたり患者 2 名）、逆に鶏群汚染率が50%で、卵の保管中の時間の温度のシナリオが elevated（温度が高く、保管期間も長いシナリオ）で最も高く 0.00045%（喫食機会 100 万回あたり患者 4.5 名）であった。リスクの変化は鶏群の汚染率にほぼ比例し、ベースラインで見た場合汚染率 5%から 25%（5 倍）でリスクは 0.00002%から 0.00012%とほぼ 5 倍上昇、5%から 50%（10 倍）で、リスクは 0.00002%から 0.00024%とほぼ 10 倍上昇していた。

Table 5.1. Predicted probabilities of illness per egg serving based on different flock prevalence settings and different egg storage time and temperature scenarios.

Flock prevalence	Time-temperature scenarios		
	Reduced	Baseline	Elevated
5%	0.00002%	0.00002%	0.00004%
25%	0.00009%	0.00012%	0.00022%
50%	0.00017%	0.00024%	0.00045%

表○ (Fig 5.1) では、採卵鶏の群の有病率 (Flock prevalence) を 5%、25%、50%とした時、時間と管理温度を同じ管理下としたシナリオを仮定すると最低予測値 (5%の有病率) では喫食機会 100 万回あたり患者 0.2 名 (Time-temperature scenarios の Reduced の部分 : 0.00002%)、最高予測値 (50%の有病率) で同 100 万回あたり患者 4.5 名 (Time-temperature scenarios の Elevated の部分 : 0.00045%) となる。

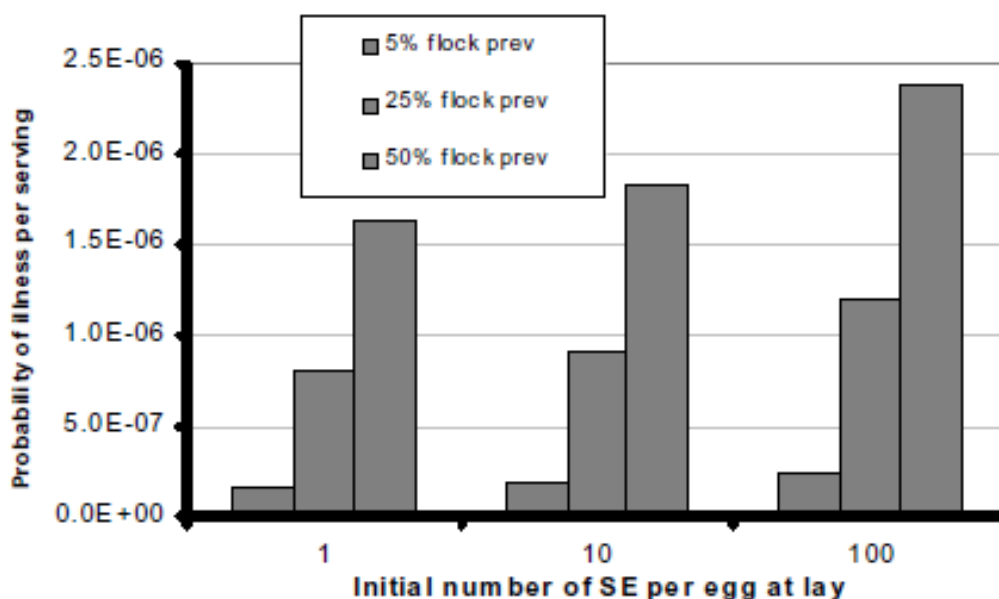


Figure 5.6. Predicted probability of illness per serving, assuming that the number of *Salmonella* Enteritidis (SE) per contaminated egg at lay is 1, 10 or 100. Three flock-prevalence levels are considered. Egg storage times and temperatures are assumed to be the baseline settings.

図○ 汚染卵内の菌数と鶏群の汚染率と発症確率の関係。汚染卵中の SE の菌数が卵当たり 1, 10, または 100 個と仮定したときの、鶏群汚染率ごとの喫食回数あたりの感染確率の予測。3つの鶏群の汚染率を想定した。卵の保管時間と温度はベースラインシナリオを仮定。

※図○ (Fig5.6) では、横軸の数字は卵 1 個当たりの初期の *S. Enteritidis* の数

を、棒グラフは各群の汚染率を 5%、25%、50%とした時の結果を示している。
縦軸は発症確率で、喫食回数当たりのリスクを意味している。

すべての汚染された卵は 1, 10 又は 100 個と仮定した。汚染率が 5%の場合、
卵の初期菌数が 1, 10, 100 個いずれであっても、1 回の喫食当たりのリスクは
1 千万回当たり 2 名であった。汚染率が 25%と 50%では初期菌数の影響が表
れ、初期菌数が 1 から 100 個に増えると、喫食回数あたりのリスクは 1 千万回
の喫食当たり、8 名から 10 名に増加する。初期菌数が 1 log 変化しても、感染
のリスクの変化は 1 log 未満であった。

(2) 定量的リスク評価の事例

②セネガル、ダカールの家庭で調理された鶏肉の食事によるカンピロバクター症及びサルモネラ症のリスク評価

Risk Assessment of campylobacteriosis and Salmonellosis Linked to Chicken Meals Prepared in Households in Dakar, Senegal

著者：Regis Pouillot, Benoit Garin, Noro Ravaonindrina, Kane Diop, Mahery Ratsitorahina, Domoina Ramanantsoa, and Jocelyne Rocourt

出典：Risk Analysis, Vol. 32, No. 10, 2012

【概要】

セネガルのダカールの家庭で調理された鶏肉の食事に関連するサルモネラ及びカンピロバクター感染症のリスクを説明するために、定量的な微生物学的リスク評価モデルを使用した。モデルは、ダカール市場で購入した鶏の首の皮膚の細菌ダカール市場で購入した鶏の首の皮膚の細菌の汚染率や菌数、鶏肉購入から消費まで記録された時間-温度プロファイル、プライベートキッチンにおける食事の準備の観察調査、および台所用品と料理人の手の病原体の検出と菌数測定など、この研究のために特別に収集されたデータを使用して構築された。完全に加熱すると、調理中に鶏肉に存在するすべての細菌が死滅するが、調理済みの鶏肉あるいは台所用品また調理者の手を介した相互汚染は、高い頻度での病原体の摂取につながった。

また、サルモネラ属菌の著しい増殖が食事の調理前後での室温保管の間に予想された。これらの高い暴露がダカールの家庭における高いカンピロバクター症及びまたはサルモネラ症につながっていた。摂取されたバクテリアの数とリスクを著しく下げること、食鳥処理場において鶏肉の汚染率を減らすこと、またはキッチンでの簡単な衛生対策の使用により達成できる。セネガルの食品取扱者の衛生教育を強化する緊急の必要性がある。

1 【モデルアプローチ】

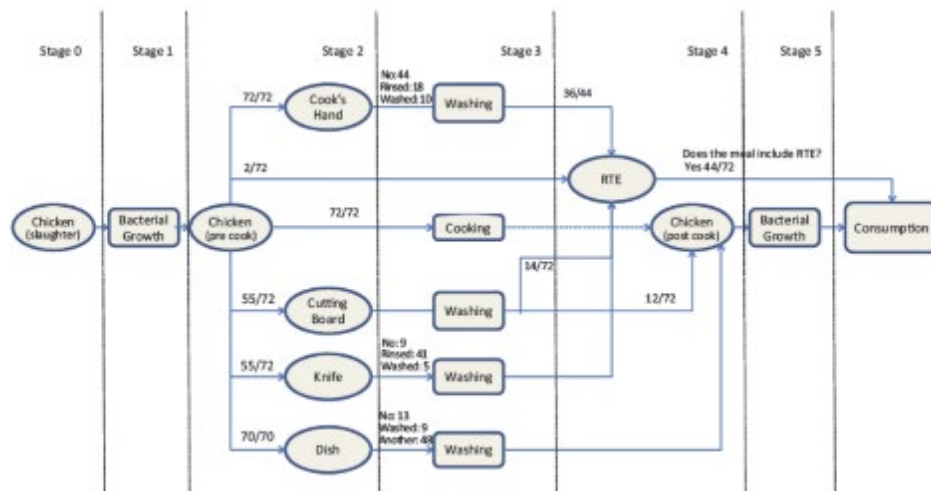


Fig. 1. Model diagram of the quantitative exposure assessment for *Campylobacter* and *Salmonella* in Dakar households.

図〇. ダカールの家庭でのカンピロバクター及びサルモネラ属菌の定量的暴露評価のモデルダイアグラム

左端 (Stage 0 : 食鳥処理場) から右端まで (消費されるまで) の過程で、6つのステップ (①食鳥処理場、②処理場から家庭への輸送、③家庭での加熱前、④加熱、⑤加熱後の保管、⑥喫食) で構築されていた。

また、以下の表〇 (Table I) にベースラインモデルのパラメータと確率分布を示した。本論文のモデルに用いられたパラメータの確率分布、さらに分布特性 : V/U/F (V, variability distribution; U, uncertainty distribution; F, fixed value; S, this study; E, expert knowledge) と引用文献が記載されている。

Table I. Parameters and Their Distribution in the Baseline Model

Parameter		Distribution	V/U/F	Reference
Transfer Coefficients				
T_{CR}	Transfer coefficient Chicken → RTE	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-1.72, 1.07)^a$	V	21
T_{RC}	Transfer coefficient RTE → Chicken	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-1.72, 1.07)$	V	21
T_{CH}	Transfer coefficient Chicken → Hand	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-1.69, 0.81)$	V	21
T_{HC}	Transfer coefficient Hand → Chicken	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-4.96, 0.37)$	V	21
T_{RH}	Transfer coefficient RTE → Hand	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-1.72, 1.07)$	V	21
T_{HR}	Transfer coefficient Hand → RTE	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-1.72, 1.07)$	V	21
T_{CB}	Transfer coefficient Chicken → Board	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-1.45, 1.39)$	V	21
T_{BC}	Transfer coefficient Board → Chicken	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-0.15, 0.07)$	V	21
T_{RB}	Transfer coefficient RTE → Board	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-1.42, 0.52)$	V	21
T_{BR}	Transfer coefficient Board → RTE	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-1.42, 0.52)$	V	21
T_{CK}	Transfer coefficient Chicken → Knife	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-2.43, 0.69)$	V	21
T_{KC}	Transfer coefficient Knife → Chicken	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-2.43, 0.69)$	V	21
T_{RK}	Transfer coefficient RTE → Knife	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-2.43, 0.69)$	V	21
T_{KR}	Transfer coefficient Knife → RTE	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-2.43, 0.69)$	V	21
T_{CD}	Transfer coefficient Chicken → Dish	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-2.70, 0.45)$	V	21
T_{DC}	Transfer coefficient Dish → Chicken	$\text{Log}_{10}\text{Normal}T (-2.70, 0.45)$	V	21
Log₁₀ Reduction During Inactivation Steps				
W_{WO}	Log ₁₀ reduction on washing an object (log ₁₀ CFU)	BetaPert (1, 4.5, 7)	V	22
W_{WH}	Log ₁₀ reduction on washing hands (log ₁₀ CFU)	-Log ₁₀ (Beta (0.24, 6.67))	V	22
W_{ROH}	Log ₁₀ reduction while rinsing an object or hands (log ₁₀ CFU)	BetaPert (0, 0.5, 1.5)	V	E from 66
Parameters for the Bacterial Growth Model				
T_{min}	Minimal temperature for growth of <i>Salmonella</i> (°C)	Normal (5.7, 0.82)	U	20
T_{opt}	Optimal temperature for growth of <i>Salmonella</i> (°C)	Normal (40.1, 0.26)	U	20
T_{max}	Maximal temperature for growth of <i>Salmonella</i> (°C)	Normal (49.3, 0.19)	U	20
μ_{opt}	Optimal growth rate (log ₁₀ CFU/cm ² /h)	Normal (0.73, 9.1E-3)	U	20
N_{max}	Maximum achievable concentration of bacteria (log ₁₀ CFU/cm ²)	8	F	E
Parameters for the Dose-Response Models				
(α_C, β_C)	Parameters of the dose-infection model for <i>Campylobacter</i>	Empirical posterior distribution obtained in ⁽²³⁾	U	23
(η_{CC}, r_{CC})	Parameters of the conditional dose-illness model for <i>Campylobacter</i> in children	Empirical posterior distribution obtained in ⁽²³⁾	U	23
(η_{CA}, r_{CA})	Parameters of the conditional dose-illness model for <i>Campylobacter</i> in adults	Empirical posterior distribution obtained in ⁽²³⁾	U	23
(α_S, β_S)	Parameters of the dose-infection model for <i>Salmonella</i>	Empirical posterior distribution obtained in ⁽²⁴⁾	U	24
(η_S, r_S)	Parameters of the conditional dose-illness model for <i>Salmonella</i>	Empirical posterior distribution obtained in ⁽²⁴⁾	U	24
Probabilities, Stage 2				
pRTE	Probability of including an RTE in the meal	Beta (44 + 1, 72-44 + 1)	U	S
pChi-RTE	Probability of chicken-RTE contact	Beta (2 + 1, 72-2 + 1)	U	S
pChi-Hands	Probability of chicken-hand contact	Beta (72 + 1, 0 + 1)	U	S
pCutBefore	Probability of contact between chicken, hands, board, and knife (the chicken is cut before cooking)	Beta (55 + 1, 72-55 + 1)	U	S
Probabilities, Stage 3				
pWashBoard	Probability that the board and knife are not washed, are rinsed, or are washed	Dirichlet (9 + 1, 41 + 1, 5 + 1)	U	S
pWashDish	Probability that the dish is not washed, is washed, or is changed	Dirichlet (13 + 1, 9 + 1, 48 + 1)	U	S
pWashHans	Probability that the hands are not washed, are rinsed, or are washed	Dirichlet (44 + 1, 18 + 1, 10 + 1)	U	S
Probabilities, Stage 4				
pHands-RTE	Probability of hand-RTE contact assuming RTE is included in the meal	Beta (36 + 1, 44-36 + 1)	U	S
pChi-Board	Probability of board-chicken contact	Beta (12 + 1, 72-12 + 1)	U	S
pCutRTE	Probability contact between RTE, hands, board, and knife, assuming RTE is included in the meal	Beta (14 + 1, 72-14 + 1)	U	S
Parameter for the Consumption Step				
Eaters	Number of individuals who share the meal, from 1 to 14	Dirichlet (0 + 1, 0 + 1, 1 + 1, 10 + 1, 6 + 1, 9 + 1, 13 + 1, 10 + 1, 1 + 1, 4 + 1, 4 + 1, 1 + 1, 1 + 1)	U	S

^aLog₁₀NormalT: normal distribution for the log₁₀ of the parameter, the parameter being truncated on (0-1).

Note: V, variability distribution; U, uncertainty distribution; F, fixed value; S, this study; E, expert knowledge.

【結果】

1. 初期汚染分布

Campylobacter: 鶏の汚染率は常に 100%で、対数正規分布でと体サンプル当たり、平均が $-0.281 \log_{10}$ でSD が $2.66 \log_{10}$ であった。

Salmonella: 最適モデルは zeroinflated 対数正規分布であった。鶏の汚染率は 78.0%と推定された。汚染された鶏での菌数は対数正規分布で、平均 $1.91 \log_{10}$ CFU/サンプルで、SD は $1.15 \log_{10}$ CFU/サンプルと推定された。

2. 温度と時間のプロファイル及び加熱の効果

Fig. 2 は研究で観察された、4つの典型的な時間と温度の profiles を示している。加熱調理前のステップ、すなわち鶏肉の購入から加熱までの時間は通常長く (平均: 4 時間 17 分, SD: 1 時間 52 分)、その間、鶏肉は室温で保管されていた (平均 29.3°C ; Table II)。平均的な加熱調理ステップもまた長かった。加熱ステップの間、鶏肉に挿入したデータロガーが示した温度は極めて高く平均 93°C であった。この長時間高温加熱の組み合わせにより、加熱工程では平均 $10^7 \log_{10}$ 、中央値で $3 \times 10^4 \log_{10}$ の菌数低減効果が理論的には考えられた。冷却工程は通常短く、しかし時には 2 時間以上で、その間の平均温度はおおよそ 35°C であった。最後に、加熱後、消費前の保管ステップは極めてばらつきがあり、6 分から 9 時間 36 分までであった。加熱済の鶏肉は冷蔵庫または冷凍庫で保管されることはなく、この段階で最低温度は 17.5°C 、平均温度は 32°C であった。Table II に観察された 72 事例のデータをまとめて示している。

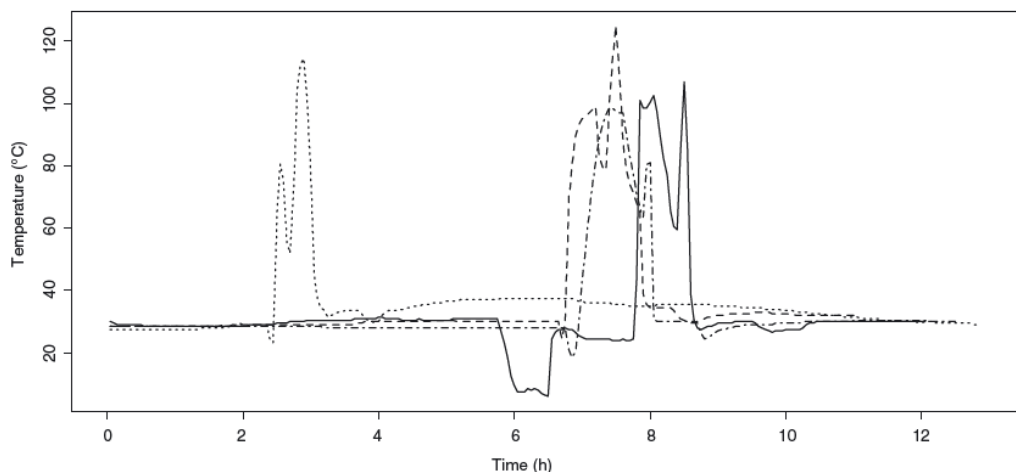


Fig. 2. Four examples of time-temperature profiles. Note the generally high temperature of storage and the extremely high temperature of cooking.

図○ (Fig 2) 本論文における 72 例の報告で、典型的な 4 例分の「鶏の皮購入」から「喫食」までの時間経過 (横軸: Time (h)) と温度 (縦軸: Temperature ($^{\circ}\text{C}$))

を示している。

Stage		Mean of the 72 Records	Median of the 72 Records
Precooking	Duration	4 hours 17 minutes	4 hours 21 minutes
	Average temperature (°C)	29.3	29.7
	SD temperature ^a (°C)	2.78	2.56
Cooking	Duration	51 minutes	51 minutes
	Average temperature (°C)	75	78
	SD temperature (°C)	14.0	14.3
Cooling	Log ₁₀ reduction	10 ⁷	3 × 10 ⁴
	Duration	17 minutes	12 minutes
	Average temperature (°C)	35	35
Storage	SD temperature (°C)	4.0	3.5
	Duration (minutes)	3 hours 40 minutes	3 hours 30 minutes
	Average temperature (°C)	30	30
	SD temperature (°C)	1.14	0.8

Table II. Time-Temperature Profiles Observed from Chicken Purchase in the Market to Consumption, 72 Records, Dakar (Senegal)

^aThe SD refers to the standard deviation of the varying temperature during the considered period.

表○ (Table II.) では、本論文における 72 例の 4 ステージ分の (料理前時間 : Precooking、料理時間 : Cooking、冷却時間 : Cooling、喫食前の保管時間 : Storage) の平均値、中央値を示している。

3. 加熱の取扱いに関するサーベイ

加熱サーベイの結果の一部は Table III に示した。台所で起こり得る交差汚染の可能性が指摘された。例えば、55 人の調理人が鶏肉を加熱したと申告していたが、9 人が使用前にまな板ナイフを洗浄もリンスもしたことがないと回答し、36 人はすすぐだけ、5 人が洗浄だけ、5 人が洗剤で洗うと回答した。喫食の前後での温度の不適切な管理もサーベイは明らかにした。

【リスク評価モデル】

食事の調理の一般的な経路及び種々の活動の頻度のためのフードチェーンモデルが質問状に対する回答及び現場での観察から推論された。

3.4.1. Resulting Process Model

調理人の手及び 5 つの異なるもの (鶏、調理済 (RTE)、まな板、包丁及び皿) が考えられた。モデルは図1に示した 6 つの段階で構成した (Fig. 1)。

【暴露評価モデルの結果】

モンテカルロシミュレーションから、74% (95%CI: 4–82) の鶏肉が食鳥処理場においてカンピロバクターに汚染されていると推定された。実際、モデルの初期汚染は、汚染率は100%、菌数は低く、シミュレーションしたおよそ25%の

と体は菌数ゼロであった。鶏肉中の菌数（とたい全体）は非常にばらつきが大きく、平均が $7.5 \log_{10}$ CFU (95%CI: 6.1–8.3)、中央値が $1.5 \log_{10}$ CFU (95%CI: 0.8–1.9)であった。カンピロバクターは空気中では増殖しないため、調理時の菌数は購入時と同じと仮定した。キッチンではカンピロバクターは食事の準備中に色々なものに移行した（手、まな板、皿およびナイフ）。Fig. 3 はこれらの移行の程度を示したものである。調理した食事の汚染率は5% (95%CI: 3–7) 、平均菌数は $3.4 \log_{10}$ CFU/serving (95%CI: $1.6\text{--}5.4 \log_{10}$ CFU/serving)であった。(Table IV参照)。

サルモネラについては、調理した食事の汚染率は21% (95%CI: 15–26) 、平均菌数は $5.1 \log_{10}$ CFU/serving (95%CI: $4.4\text{--}6.1 \log_{10}$ CFU/serving)であった。(Table V参照)

Table III. Selected Results of the Questionnaire on Meal Preparation Completed by 72 Volunteers, Dakar, Senegal

Questions on Potential Cross-Contamination in the Kitchen		
Was the raw chicken in contact with uncooked or ready-to-eat food during its transport from the market to the house, or during its storage?	Yes	2
	No	70
Does the meal include uncooked, or already cooked and not recooked (ready-to-eat, RTE) food?	Yes	44
	No	28
If yes: what is the order of preparation of the food items?	Chicken, then RTE	33
	RTE, then chicken	8
	Simultaneous	3
Does the cook wash her hands before preparing the meal or touching the chicken?	No	29
	Yes	43
Does the cook use a hand cloth while preparing the meal?	Yes	26
	No	46
If yes, what is the state of the cloth?	Very clean	0
	Clean	6
	Rather dirty	14
	Dirty	5
	Really dirty	1
Is the chicken cut before cooking?	Yes	55
	No	17
If yes, is the material (knife, board) cleaned before use?	No	13
	Rinsed	31
	Washed, without detergent	4
	Washed, with detergent	6
Is the material (knife, board) cleaned after use?	No	9
	Rinsed	36
	Washed, without detergent	5
	Washed, with detergent	5
Is uncooked or RTE food placed on the cutting board after the chicken is cut?	Yes	14
	No	58
After the cooking step, is the chicken put on the cutting board?	Yes ^a	18
	No	54
After cooking, is the chicken placed on a dish?	The same as before cooking, washed	9
	The same as before cooking, not washed	13
	Another dish	48
After cooking, is the chicken in contact with uncooked food while stored?	Yes	6
	No	66
Questions to Investigate Potential Bacterial Growth		
In the kitchen, do you have a freezer?	Yes	35
	No	37
In the kitchen, do you have a refrigerator?	Yes	13
	No ^b	59
How did you store the chicken at home, before its preparation?	Ambient temperature	62
	Refrigerated	2
	Frozen	9
How did you store the chicken at home, after its preparation?	Ambient temperature	61
	Refrigerated	1
Questions to Investigate Consumption		
How many people will share this meal?	3	1
	4	10
	5	12
	6	6
	7	9
	8	13
	9	10
	≥9	11

^aAmong the 18 people who answered "Yes," six did not cut the chicken before cooking. Among the 12 who cut the chicken before cooking, four did not clean the board between these two contacts, six rinsed it, one washed it without a detergent, and one washed it with a detergent.

^bTwenty-four individuals had neither freezer nor refrigerator.

Table III

本論文で評価された 72 人分の鶏肉の食事に関連する質問とその回答。質問はキッチンでの交差汚染に関して、細菌の増殖可能性に関して、及び食事の人数に関する質問と、具体的な回答が示されている。

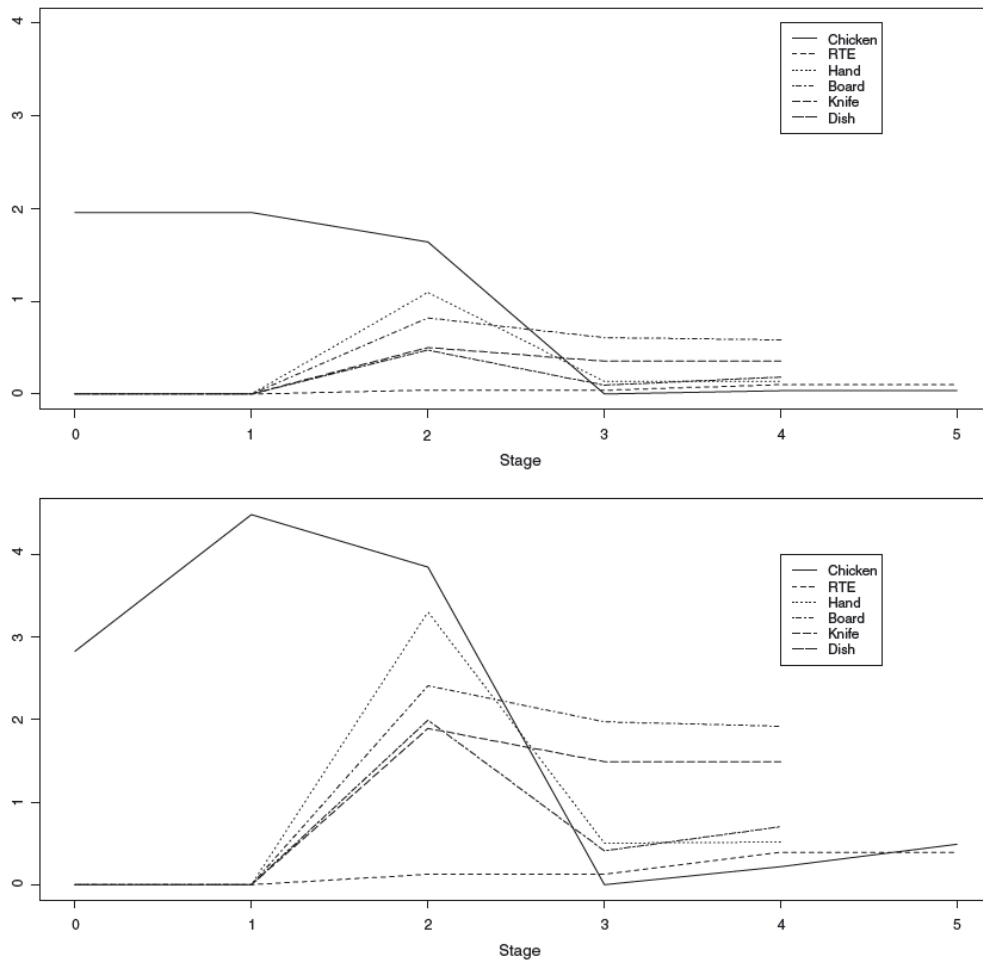


Fig. 3. Changes in the mean of the $\log_{10}$ (number of bacteria + 1) on objects and food at the end of each stage (see Fig. 1 for definition of the stages). Top panel: *Campylobacter*; Bottom panel: *Salmonella*.

Fig 3: *Campylobacter*, *Salmonella* に関して図示。縦軸は対数換算 (Log10) の菌数、横軸は Fig1 で示された Stage 0 (食鳥処理場) から Stage 6 (消費・喫食) のうち 1~5 のステージが図示されている。複数ある直線あるいは破線は調理人の手、鶏、調理済 (RTE) ,まな板、包丁及び皿の菌数推移を示している。

Table IV. Outputs of a Quantitative Risk Assessment of Campylobacteriosis Following Ingestion of a Serving of a Chicken Meal in Dakar Households (Senegal)

Output	Mean	SD	Quantiles		
			50%	75%	97.5%
Dose (CFU/serving)					
Estimate	2,624	160,933	0	0	6
Lower limit 95% CI	39	1,473	0	0	1
Upper limit 95% CI	251,465	20,409,503	0	0	49
Prevalence at Consumption					
Estimate	0.047	0.212	0	0	1.000
Lower limit 95% CI	0.030	0.172	0	0	1.000
Upper limit 95% CI	0.070	0.255	0	0	1.000
Probability of Infection					
Estimate	0.033	0.177	0	0	1.000
Lower limit 95% CI	0.019	0.137	0	0	0.000
Upper limit 95% CI	0.052	0.221	0	0	1.000
Probability of Illness (Children)					
Estimate	0.031	0.171	0	0	0.999
Lower limit 95% CI	0.015	0.110	0	0	0.000
Upper limit 95% CI	0.051	0.219	0	0	1.000
Probability of Illness (Adults)					
Estimate	0.015	0.118	0	0	1.79×10^{-7}
Lower limit 95% CI	0.007	0.081	0	0	0.000
Upper limit 95% CI	0.029	0.166	0	0	1.000

Campylobacter に汚染された鶏肉を調理した食事を喫食した時の、喫食時の暴露菌量、喫食される食物の消費時の有病率、さらにその後の発症の可能性の平均値・標準偏差値・分位値に関し、見積値・95%上限値・95%下限値について記載。

【Risk Characterization】

Campylobacter: 感染リスクの平均値は 3.3% (95%CI: 1.9–5.2)と推定された。子供の疾病リスクは平均 3.1% (95%CI: 1.5–5.1)、成人は子供より低く、平均 1.5%であった (95%CI: 0.70–2.9) (Table IV)。

Salmonella: 食事の喫食後の感染リスクの推定平均は 16% (95%CI: 1.5–25)で、発病リスクの推定平均は 13% (95%CI: 0.4–25)であった。カンピロバクター同様、これらのリスクの分布はきわめて skewed であった。

また、用量反応モデルに大きな不確実性があるため、これらの推定は不確実性が大きい。サルモネラ属菌についても、カンピロバクターと同様、50% 以上の個人のリスクはゼロであった。なぜなら、食事中に *Salmonella* を全く摂取していないからである。(Table V)。

Table V. Outputs of a Quantitative Risk Assessment of Salmonellosis Following Ingestion of a Serving of a Chicken Meal in Dakar Households (Senegal)

Output	Mean	SD	Quantiles		
			50%	75%	97.5%
Dose (CFU/serving)					
Estimate	119,614	4.94×10^6	0	0.000	31,507
Lower limit 95%CI	22,794	5.98×10^5	0	0.000	9,672
Upper limit 95%CI	1,353,948	1.16×10^8	0	2.000	98,592
Prevalence at Consumption					
Estimate	0.205	0.404	0	0.000	1
Lower limit 95%CI	0.151	0.358	0	0.000	1
Upper limit 95%CI	0.263	0.440	0	1.000	1
Probability of Infection					
Estimate	0.161	0.360	0	0.000	1.000
Lower limit 95%CI	0.015	0.117	0	0.000	0.000
Upper limit 95%CI	0.248	0.432	0	0.134	1.000
Probability of Illness					
Estimate	0.125	0.318	0	0.000	1.000
Lower limit 95%CI	0.004	0.057	0	0.000	0.000
Upper limit 95%CI	0.248	0.432	0	0.010	1.000

Salmonella に汚染された鶏肉を調理した食事を喫食した時の、喫食時の暴露菌量、喫食される食物の消費時の有病率、さらにその後の発症の可能性の平均値・標準偏差値・分位値に関し、見積値・、95%上限値・95%下限値について記載。

【対策】

食鳥処理場における菌数削減がリスク低減に効果が認められた(Fig. 4)。2log10削減（菌数を99%削減）により患者数を1/2に減らすことができると推定された。5log10削減でもリスクを完全に排除するには不十分であろう。台所での洗浄の効果のモデル化から、洗浄はサルモネラ症またはカンピロバクター症のリスクを著しく減らすためには不十分であることが示唆された(図○の alternatives #4 and #5)。リスクを減らす効果的な方法は加熱前後において、まな板、包丁及び皿を変えることにより、製品間の主な交差汚染を避けることであろう(alternative #6)。細菌は増殖がなければ、摂取される菌数及びリスクに明らかに前向きなインパクトをもたらすであろう。しかし、このインパクトは予想したより小さくなく、このプロセスにおけるばく露において交差汚染が重要な役割を果たしていると考えられた。

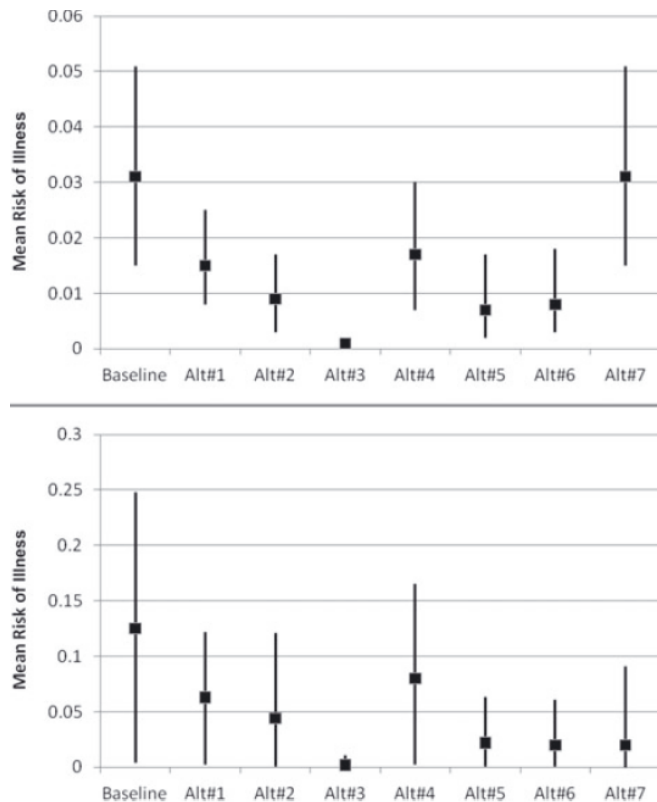


Fig. 4. Mean risk (95%CI) of campylobacteriosis for children (top panel) and salmonellosis for adults and children (bottom panel) for children, following the ingestion of a serving of a chicken meal in Dakar households (Senegal), according to the baseline model and the alternative models: Alt#1: reduction in the prevalence of contaminated chickens by a factor of two; Alt#2: 2 log₁₀ reduction in bacterial load at slaughter; Alt#3: 5 log₁₀ reduction in bacterial load at slaughter; Alt#4: the cooks wash the various objects (with a detergent) each time they attended to wash or rinse them in the baseline model; Alt#5: the cooks systematically washed the various objects (knife, board, dishes, and hands) during stage 2; Alt#6: the cooks changed the knife, board, and dish between stages 1 and 3 and washed their hands with a detergent; Alt#7: products are stored in a refrigerator before and after cooking.

Fig. 4.

上図:子供のカンピロバクター症、下図:大人と子供のサルモネラ症 に関して
発症平均リスク (95 %信頼区間) が図示されている。縦軸は平均発症リスク、
縦線は各モデルで示している。

左端:ベースラインモデルの結果。

Alt#1: 屠殺時に枝肉の汚染発生を減らすと、汚染された鶏の有病率を 2 分の
1 に削減

Alt#2: 屠殺時の細菌量 2log₁₀ 減少した時

Alt#3: 屠殺時の細菌量 5log₁₀ 減少した時

Alt#4: 調理人が、ベースラインモードで洗いやすすぎ毎に、さまざまなものを
洗剤で洗った時。

Alt#5: ステージ 2 において、調理人が包丁、まな板、食器、手などを体系的に
洗った時。

Alt#6: 調理人がステージ 1 とステージ 3 の間で包丁、まな板、食器を交換し洗
剤で手を洗った時。

Alt#7: 料理が、調理前と調理後に冷蔵庫で保管された時。

1 【結論】

2 結果から、鶏のと体のカンピロバクターとサルモネラ属菌の非常に高い汚染
3 菌量がキッチンに入り、交差汚染を起こすことが感染及び疾患の高いリスクに
4 つながっていることが示唆された。食鳥処理と食事調理時の衛生の改善により、
5 ダカールにおけるカンピロバクター症とサルモネラ症の疾病負荷を減らすこと
6 ができると考えられた。食品安全全体、特にカンピロバクターとサルモネラ属菌
7 に関する、一般国民の認識を高める必要がある。WHO の “Five keys to safer
8 food” のような明解で、かつシンプルなメッセージに基づくコミュニケーション
9 ツールが開発された。セネガルにおける食鳥処理場の衛生、及び個々の家庭で
10 の衛生を強化するための追加のリスク管理及びリスクコミュニケーションツ
11 ルが作成されるべきである。

12

(2) 定量的リスク評価の事例

③タイ南部の Bloody clam 中の腸炎ビブリオのリスク評価のための定量的モデリング

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

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

出典：International Journal of Food Microbiology 124 (2008) 70–78

【概要】タイ南部で消費された Bloody clam (*Anadara granosa*、以下「BC」という。)における腸炎ビブリオのリスク評価が実施された。この研究では、収穫および小売段階、そしてこのプロセスの間での Bloody clam 中の病原性腸炎ビブリオの有病率と濃度を推定した。また、BC の総腸炎ビブリオと病原性腸炎ビブリオを検出する方法を調査した。BC の消費と加熱調理の効率は、消費者のインタビューと現場観察により調査した。ベータ・ポアソン用量反応モデルを使用して、USFDA によって提示された最も可能性の高いパラメーターの推定方法を適用して発症確率を推定した。微生物および行動データは、確率モデルを開発することによって分析された。シミュレーションでは、BC を消費し、腸炎ビブリオにより腸炎ビブリオ食中毒になる平均回数が 5.6×10^{-4} /人/年と推定された。感度分析により、BC を十分に加熱しなかった人がリスクを高める主な要因であることが示唆された。この研究は限られたデータ収集と国際協力による微生物学的リスク評価がどのように貴重な地元の洞察につながるかという事例として役立つと考えられた。

【アプローチ】

利用可能なデータから Fig1 に示したモデルが構築された。

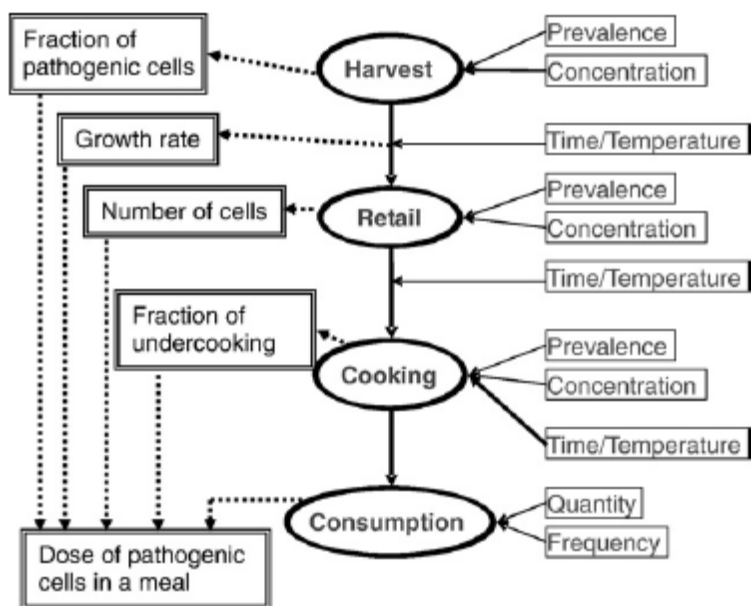


Fig. 1. Schematic representation of the model framework for production-to-consumption risk assessment of *V. parahaemolyticus* in bloody clams. Modeled parameters are written in double-lined squares.

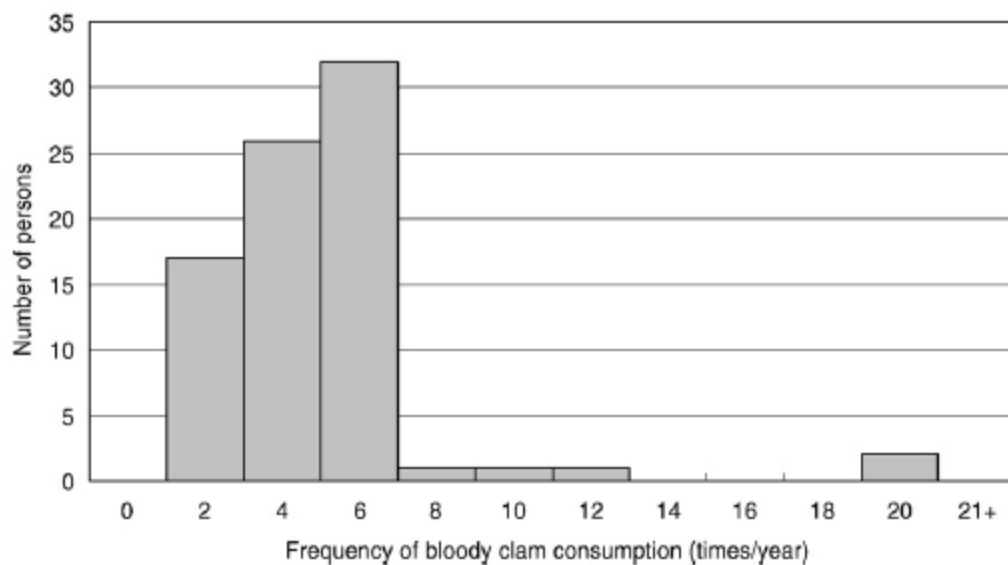


Fig. 3. Distribution of frequency of bloody clam consumption per year.

消費者のインタビューから、年間の Bloody clam の喫食の頻度分布が得られた (図○)。縦軸：人数、横軸：年間の Bloody clam の喫食回数を示す。

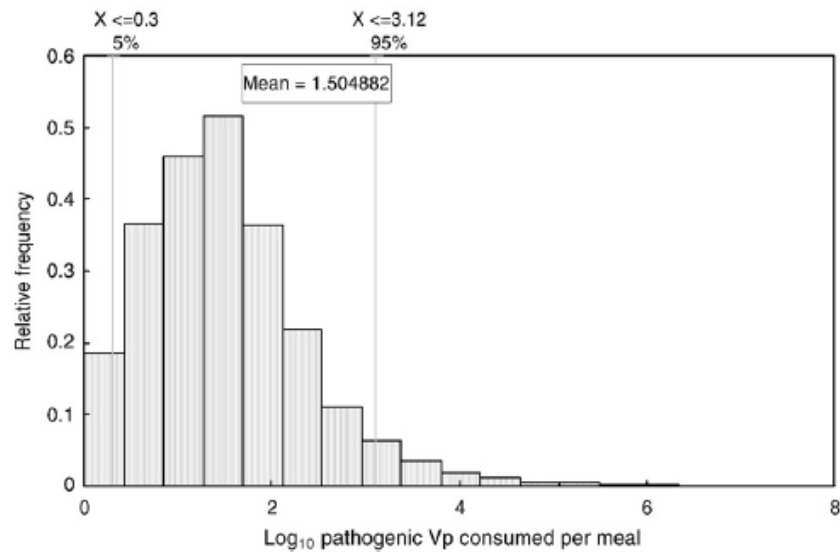


Fig. 5. Distribution of pathogenic *V. parahaemolyticus* (Log_{10} cells) in a simulated bloody clam meal after improper cooking.

Fig. 5.

縦軸：相対頻度、横軸：十分に加熱されず不適切に調理された Bloody clam 料理の病原性 V_p の数（常用対数換算）

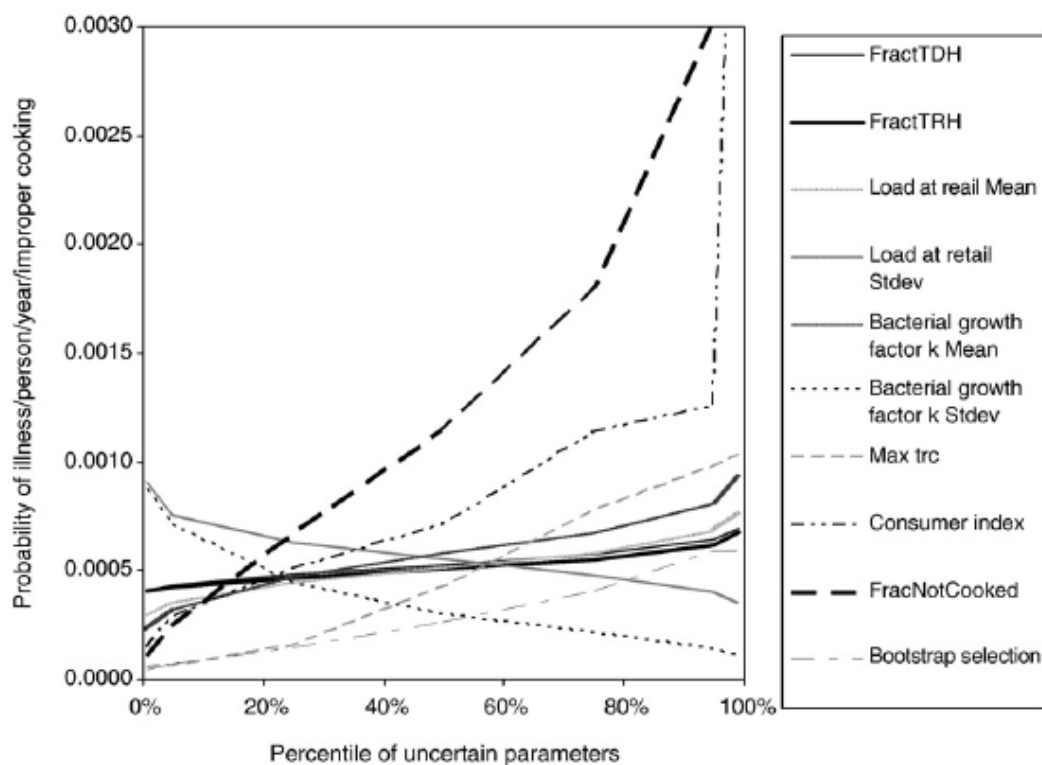


Fig. 6. スパイダー図(感度分析)

縦軸：不十分の加熱で調理での1年間1人当たりの発症確率、横軸：不確実性要素のパーセンタイル

1 ・ FractTDH: 全 Vp 中の tdh+腸炎ビブリオ (Vp) の割合

2 ・ FractTRH: 全 Vp に占める trh+Vp の割合

3 ・ Load at retail Mean (小売段階での負荷 平均値) : 小売段階での全 Vp の平均
4 濃度。

5 ・ Bacterial growth factor k Mean (細菌増殖因子 k 平均値) : Vp の増殖速度の
6 平均値。

7 ・ Bacterial growth factor k Stdev (細菌増殖因子 k Stdev) : Vp の増殖速度の
8 標準偏差。

9 ・ Max trc : 小売から家庭で調理するまでの時間の最大値。

10 ・ Consumer index (消費者指数) : インタビューを受けた人の中から、年間のア
11 サリの喫食頻度や、1回の食事で喫食するアサリの個数をモデル化したものを選
12 択。

13 ・ FracNotCooked: アサリ料理の加熱調理が不十分な人の割合。

14 ・ Bootstrap selection : USFDA によるブートストラップ結果の可能性に応じた
15 β-ポアソン用量反応モデルのパラメータ推定値の選択。

17 **【リスクの判定】**

18 シミュレーションモデルは、BC の喫食により腸炎ビブリオで病気になる確率
19 の平均値は 5.6×10^{-4} 、つまり 1 年に人口 10,000 あたり 6 人が発症すると推定し
20 た。

21 感度分析によると、図 6 に示すように、感染は BC を不適切に沸騰させていた
22 ことがリスクに最も影響をあたえ、続いて BC の年間消費量であり、他の確率変
23 数はリスクに有意に影響しないことが実証された。

24 結論として、このモデルの統計的不確実性は、モデルからの推定では、不確実な
25 パラメータのいくつかが極端な場合、年間一人あたり 0.003 変化することがあ
26 りえるが、これ以上大きくなることはないというものだった。

(2) 定量的リスク評価の事例

④ EFSA: Update and review of control for *Campylobacter* in broiler at primary production. EFSA Journal. 2020. 18(4): 6090

SCIENTIFIC OPINION



ADOPTED: 18 March 2020

doi: 10.2903/j.efsa.2020.6090

Update and review of control options for *Campylobacter* in broilers at primary production

EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ),
Konstantinos Koutsoumanis, Ana Allende, Avelino Alvarez-Ordóñez, Declan Bolton,
Sara Bover-Cid, Robert Davies, Alessandra De Cesare, Lieve Herman, Friederike Hilbert,
Roland Lindqvist, Maarten Nauta, Luisa Peixe, Giuseppe Ru, Marion Simmons,
Panagiotis Skandamis, Elisabetta Suffredini, Thomas Alter, Matteo Crotta, Johanne Ellis-Iversen,
Michaela Hempen, Winy Messens and Marianne Chemaly

[概要]

カンピロバクターに関する 2011 年の EFSA の意見は、より最近の科学的データを使用して更新された。

肉用鶏の肉に起因する EU でのヒトカンピロバクター症の相対リスクの減少、鶏群のカンピロバクターの汚染率を減らす介入のために、農場での管理のオプションの効果を Population Attributable Fractions (PAF) を用いて推定した。また、盲腸便中のカンピロバクター濃度を低下させる介入のためのモデリングアプローチが更新され、さらに科学文献のレビューが行われた。6 つの制御オプションについて計算された PAF 分析によると、これら 6 つの制御オプションのそれぞれを個別に採用することで達成できる相対リスクの削減はかなりの量であると推定されたが、すべての制御オプションの相対リスクの信頼区間の幅が大きいため、特定のリスク削減オプションの可能性には、大きな不確実性が認められた。更新されたモデルの結果は前の EFSA の意見で使用されたモデルよりも影響の推定が低かった。肉用鶏の盲腸のカンピロバクター濃度を 3-log₁₀ 減少させることにより、肉用鶏の肉に起因するヒトカンピロバクター症の相対的な EU でのリスク低減は、以前の意見では 90%を超えると推定されていたのに対し、このモデルでは 58%の低減と推定された。専門家の知識を引き出し集約する方法 (Expert Knowledge Elicitation) を、さまざまな証拠に重みを付けて統合し、また不確実性を評価して、コントロールオプション (CO) をランク付けするために使用した。

1 選択された CO の相対リスク削減の中央値は信頼区間が大きく重複しているた
2 め、順位は不確実だった：ワクチン接種 27%（90%の信頼区間（PI）4–
3 74%）；飼料および水添加物 24%（90%PI 4–60%）；間びきの禁止 18%（90%
4 PI 5–65%）；少数の十分な訓練を受けたスタッフを雇用する 16%（90%PI 5–
5 45%）；ため水の飲水を可能とする給水器の使用 15%（90%PI 4–53%）、飲料
6 水への消毒剤の添加 14%（90%PI 3–36%）；衛生的な前室 12%（90%PI 3–
7 50%）；肉用鶏の養鶏場毎に指定工具 7%（90%PI 1–18%）。CO の組み合わせ
8 の効果を定量化することはできなかった。証拠から導き出された推定値は相互
9 に依存しており、関連する不確実性のレベルが高かった。

10 【リスク評価における管理者からの諮問】

11 本リスク評価における諮問は次のとおり。

12 問1：前回の 2011 年の意見書以降、CO についてどんな新しい科学的エビデン
13 スが得られたか。またそれらのカンピロバクター症減少の相対的リスク低減効
14 果は？

15 問2：一次生産レベルで選択した CO の人のカンピロバクター症を減少させる
16 上での効果に関するランキングは？

17 問3：選択した CO の利点及び欠点は？

18 問4：CO を組み合わせた効果は？

19 【アプローチの概要】

20 CO の効果は2つの異なるモデリングアプローチを用いて推定

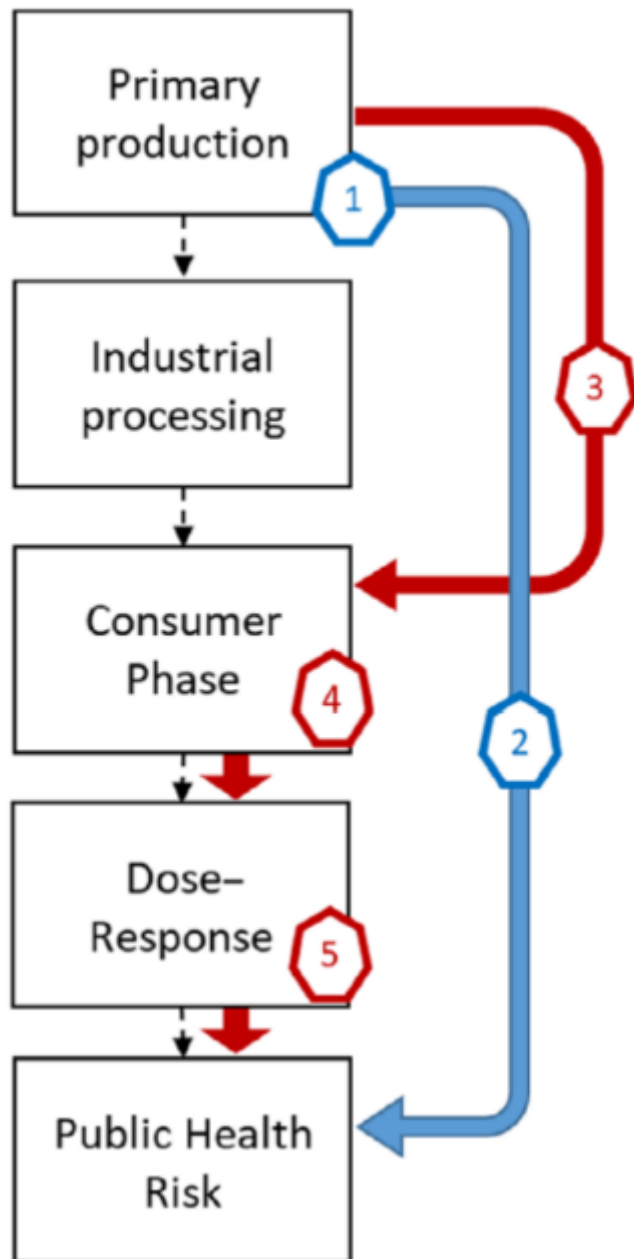
21 (a)食鳥処理場へ送られる肉用鶏群のカンピロバクター汚染率を下げるCO

22 (b)盲腸便中のカンピロバクター菌数を下げるCO

23 モデリング

24 *Campylobacter* spp. 鶏群汚染率を下げることによる公衆衛生上の効果を推定
25 するために用いたモデリングステップ (1–2)の図で blue の線

26 盲腸便中の菌数を下げることによる公衆衛生上の効果を推定 (3–5) 赤の線



図〇. Population Attributable Fractions (PAF) 分析手法による鶏群の汚染割合低減のための介入措置の検討

公衆衛生上の効果を推定するために用いたモデリングステップを表している。

2 (青線) : 鶏群汚染率を下げることによる公衆衛生上の効果 (養鶏場の群の有病率と公衆衛生上のリスクとの間に比例した関係があると仮定)

3 (赤線) : 盲腸便中の菌数を下げることによる公衆衛生上の効果を推定 (盲腸の菌濃度を肉用鶏の肉の菌濃度と関連付ける回帰モデル)

1 1：疫学的リスク因子研究から得られた population attributable fractions（人
 2 口帰属的画分）（PAF）分析手法

3 4：群れの有病率と公衆衛生上のリスクとの間に比例した関係があると仮定す
 4 る

5 5：用量反応（DR）モデル

6
 7 ● 農場での管理の変更の効果を鶏群におけるカンピロバクターの定着のリス
 8 クに解釈するため、オッズ比を PAF に変換することができる。

9 ● PAF の定義（WHO）:あるリスク要因によるばく露について、代替のシナ
 10 リオによりそのばく露が減少した場合における集団の疾病又は致死率の減
 11 少割合のこと

12 ● もしリスク因子への暴露が代わりの理想的な暴露にまで減ったときに起き
 13 る集団における疾患または死亡率の低下

14 ● ここでは population disease or mortality は腸管にカンピロバクターが定
 15 着したと解釈した。

16 ● 農場のコントロールが存在して、リスク因子を修正できるものだけを PAF
 17 解析に使用した。

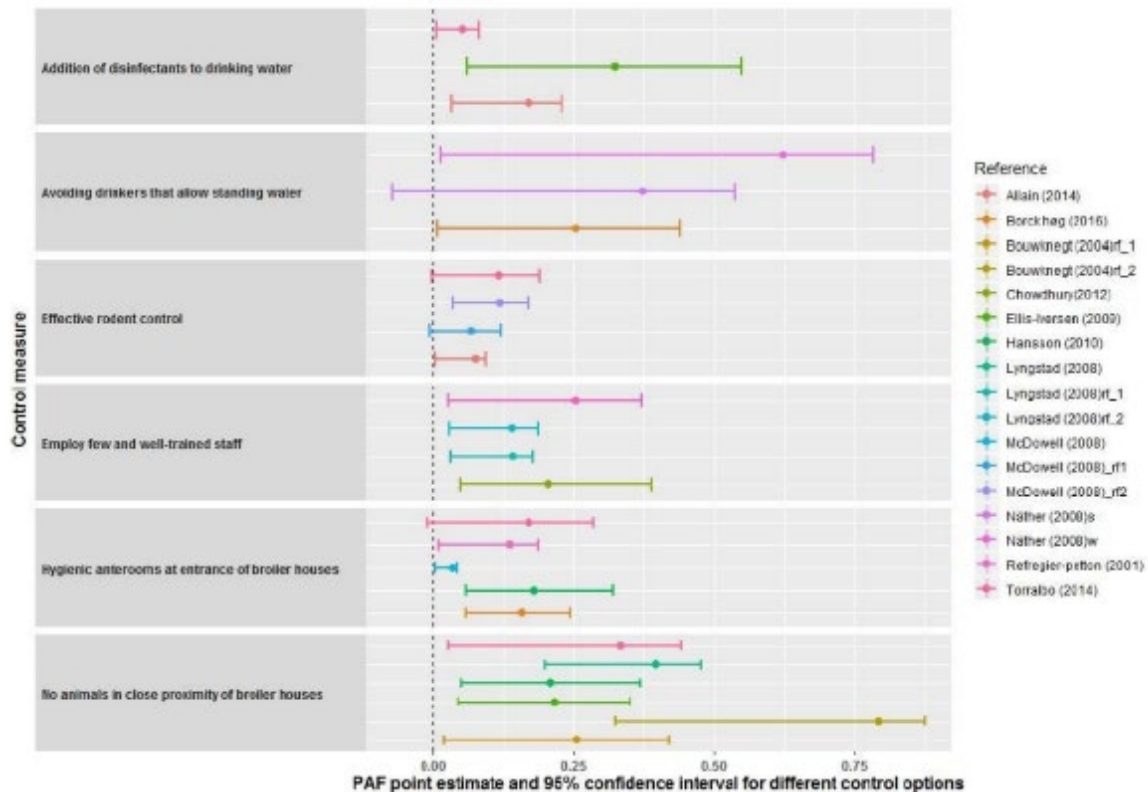
18 ● PAF 値：リスク因子への暴露がもしなくなったら鶏群の陽性率が比例して
 19 減少すると解釈

20 ● CO の効果は相対リスク低減として表現：もしそのオプションが EU 中の
 21 すべての農場で実施されたとしたら、肉用鶏の肉の喫食によっておきる人
 22 のカンピロバクター症の発生率の相対的な減少率として表した

23 ➤ $RRR = 1 - Inc_{int}/Inc_{curr}$

24 ● CO のランキングは Expert Knowledge Elicitation (EKE) を用いた可能性
 25 のある効果の評価に基づく異なるエビデンスと関連する不確実性を考慮に
 26 いれ実施した。

27
 28 管理手段毎の論文ごとのリスク低減効果



縦軸：PAF 分析により、管理方法が特定された 6 つのエビデンスをたての 6 列に示した。各エビデンスで文献ごとに 95%信頼区間と PAF の点推定値を表現している。

横軸：PAF 値

図の右の Reference は筆頭著者と論文の発行年を示す。

消毒薬の飲水添加、ため水が生じる飲水装置の使用を避ける、効果的なネズミコントロール、数人のよく訓練されたスタッフの雇用、鶏舎入口の衛生的な前室、鶏舎の近隣に動物が存在しないこと の 6 つの CO について、PAF の点推定及び 95%信頼区間を示した。いずれの 95%信頼区間が極めて大きく、どの CO が著しく効果的であるとまでは言えなかった。

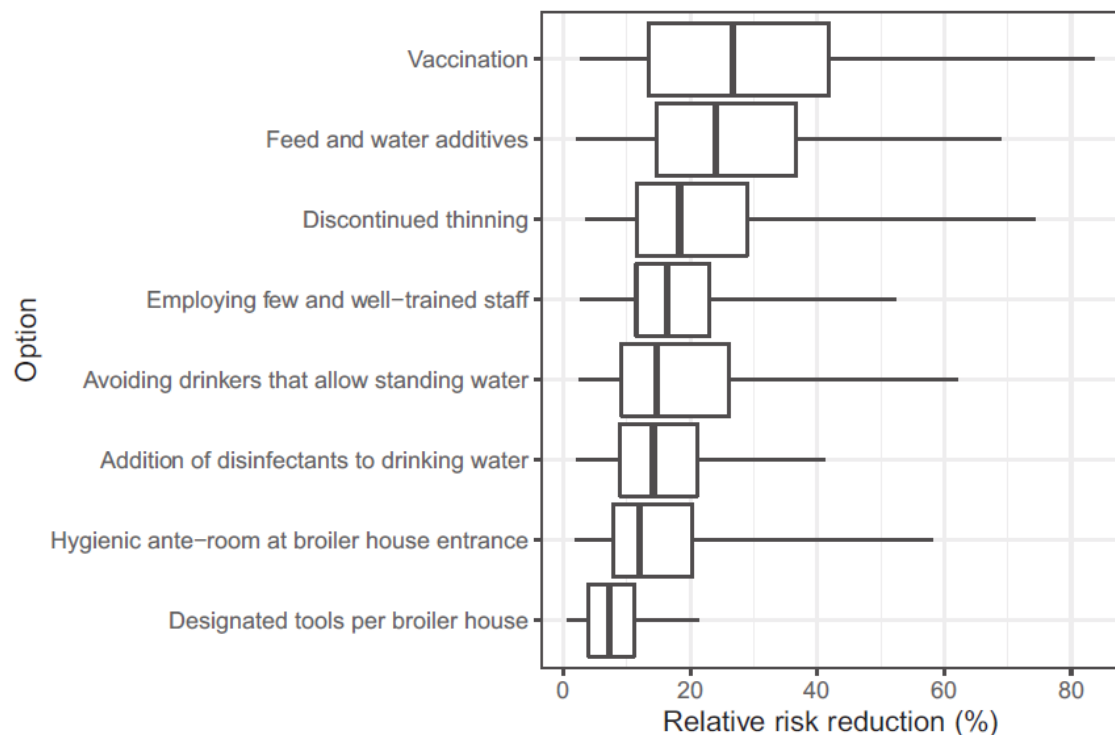


Figure 6: Results of step 2 of the ranking and uncertainty analysis. The horizontal axis is the relative risk reduction for each control option, assessed by expert judgement and expressed as % relative risk reduction in EU campylobacteriosis cases if the control option was implemented by all EU broiler producers. For each control option, the horizontal line shows the 95% probability interval for the estimated risk reduction (P2.5 and P97.5), the box shows the interquartile range (P25 and P75) and the vertical line shows the median (P50). The control options are ordered by the medians, but this should not be interpreted as a ranking due to the large degree of overlap between options

縦軸の項目：PAF分析での農場での管理のオプションの効果をランキングと不確実性解析において、第1段階で絞ったのち、次の段階でEKE（専門家による知識抽出）の手法で8項目に縛ったオプションを記載している。低減効果の中央値が大きいものを上から掲載している。

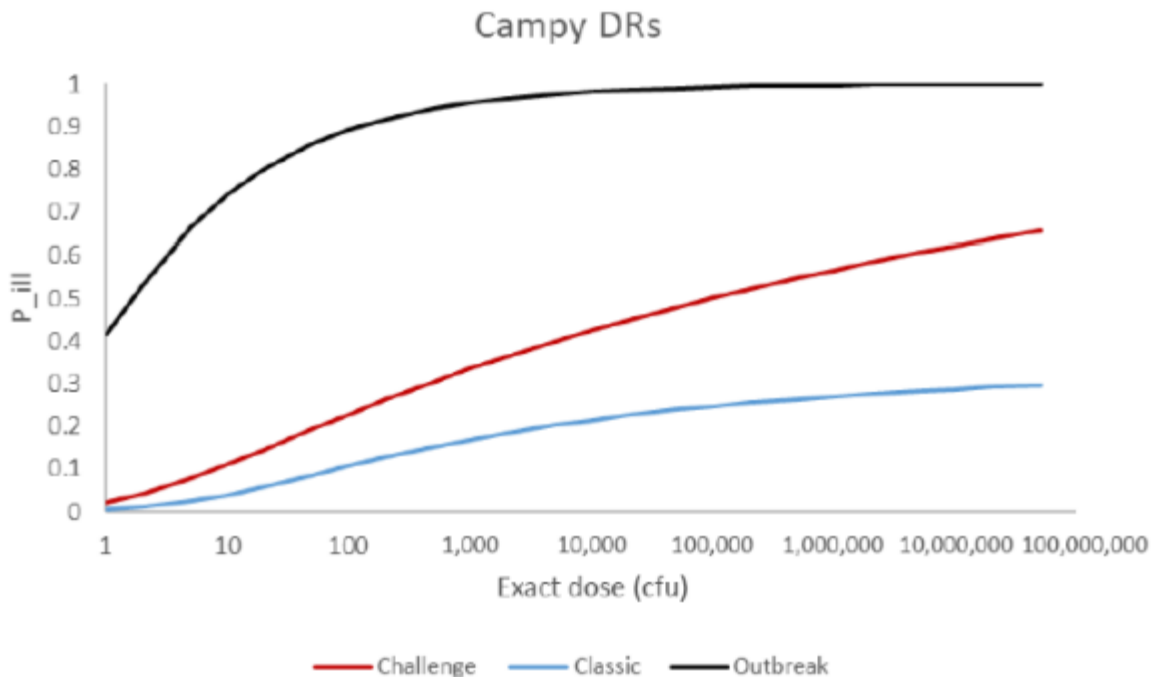
横軸は相対的リスク低減率を示している。

- 1 用量反応曲線
 2 クラシカルなモデルは青線で、これは病原性の低いカンピロバクターの投与に
 3 より低めに反応が出ている可能性がある一方、黒線のアウトブレイクデータに
 4 基づく D-R カーブはオーバーエス値と考えられ、この意見書では赤線の D-R
 5 カーブを用いている。

Table A.1: The model parameter values for the models used are given below. For details, see Teunis et al. (2018)

	P_{inf}		$P_{ill inf}$		
	α	β	r	η	Constant
Classic model	0.145	7.59			0.33
Median Challenge model	0.44	0.51	0.06	0.88	
Median Outbreak model	0.38	0.51	0.76	0.0092	

For this opinion, the default choice for the DR model remains the 'classic model', for best comparison with the 2011 opinion. In the uncertainty analysis, a random choice is made between the



- 6
 7 Table A.1 : Teunis ら (2018)が提唱した 代替用量反応曲線モデルに使用した
 8 各モデルの具体的パラメータ。
 9 上図：縦軸：発症確率、縦軸：ばく露菌数
 10 赤線：‘median challenge model (チャレンジモデルの中央値)、青線：classic
 11 model (クラシカルなモデル) 、黒線：median outbreak model (アウトブ
 12 レイクモデルの中央値)
 13

【評価質問に対する回答】

Assessment question 1: 前回の 2011 年の意見書以降、管理オプションについてどんな新しい科学的エビデンスが得られたか。またそれらのカンピロバクター症減少の相対的リスク低減効果は？

とさつ日数, 季節, 間引き(thinning), 汚染された飲水及び前の鶏群のからの carry-over が肉用鶏群へのカンピロバクターの定着の重要なリスク因子であるという追加のエビデンスを提供する新しい情報が 2011 年 EFSA 意見書以降に公表されていた。

鶏群の陽性率を下げる農場段階での CO の効果の推定を得るために PAF を用いるとによって新しい疫学的エビデンスが解析された。

入手できた研究に基づき PAFs は次の 6 つの CO に対し計算された; ①衛生的な前室、②効果的なげっ歯類コントロール、③鶏舎近隣に動物やいないこと、④飲水への消毒薬の添加、⑤高度にトレーニングを受けた限らない従事者を雇用、⑥溜水となるドリンカーを避ける。

PAF 解析により、これらの 6 つの CO を個別に適用することによって達成される平均相対リスク低減はかなり (substantial) と推定されたが、すべての CO の幅広い信頼区間は特定のリスク低減効果における高程度の不確実性を示唆。例えば、飲水への消毒剤の添加という CO の平均推定相対リスク低減効果は入手できた 3 つの研究によると 5 (95% CI 0.6–8.2) と 32% (95% CI 6.0–54.9) の間である。

2011 年以降に得られた情報のレビューにより、実験レベルの研究により、盲腸便中の log 低減の報告されている推定は飼料添加物または飲水添加物の添加、またはワクチンで可能である。しかし、フィールド研究での新しい情報は得られていない。

盲腸便中のカンピロバクターの菌数と頸皮サンプルの菌数の関係に関する新たに公表されたデータ、消費者段階のモデルの大きなばらつき及び新たに公表された dose response モデルにより、肉用鶏の盲腸便の菌数を下げる介入によるモデリングアプローチを更新することができた。これにより、2011 年の意見書で用いたモデルより推定は低くなった。盲腸便中のカンピロバクターを 2-log 減少させれば、相対リスクは 42% (中央値) (95% CI 11–75%) 下がると推定された。(2011 年の推定では 4 加盟国で相対リスク低減効果 76–98% であった。) 盲腸便中の菌数を 3-log 減少させれば EU でのリスクは 58% (95% CI 16–89%) 低減できると推定された。(2011 年の意見書では 4 加盟国で相対リスクは 90% 低減と推定。)

Assessment question 2: 一次生産レベルで選択したコントロールオプションが人のカンピロバクター症を減少させる上での効果に関するランキングは？

EU のすべての肉用鶏農場によって実施された場合の 20 のコントロールオプション(CO)の効果を現在の実施レベルを考慮にいれ、更新された科学的エビデンスのモデリングから得られた結果、文献レビュー（2011 EFSA の意見を含む）及び専門家の経験によって情報を提供された、two-step expert knowledge elicitation (EKE) 過程によって推定された。

次の 8 つの CO は少なくとも 10% のカンピロバクター症の発生率の低減を達成する確率は低いと判断した：効果的なねずみコントロール、鶏群間の空舎期間、フライスクリーンと鶏舎内からの昆虫の排除、清潔または改良された床 (litter)、鶏の密度及び鶏群のサイズ、鶏舎数、鶏の血統及び餌の供給構造。その他の 12 CO は 10% のカンピロバクター症の発生率の低減を達成する確率は高いと判断した：鶏舎入り口の衛生的な前室、鶏舎の近隣に他の動物が存在しないこと、高度にトレーニングされた限定数の従事者を雇う、飲水に消毒剤の添加、ため水ができるドリンカーを避ける、効果的な洗浄消毒、とさつする日齢の引下げ、間引き (thinning) の中止、鶏舎毎に指定された道具を使用、飼料及び飲水添加物、bacteriophages 及びワクチン。

12 の選択した CO から、エビデンスの品質及び実務的な実行可能性に基づき、8 つのオプションを更なる評価のために選択。

EKE 過程で判断された 8 つの CO の median 相対リスク低減は；ワクチン 27% (90% Probability interval (PI) 4–74%)；飼料及び飲水添加物 24% (90% PI 4–60%)；間引き (thinning) の中止 18% (90% PI 5–65%)；高度にトレーニングされた限定数の従事者を雇う 16% (90% PI 5–45%)；ため水ができるドリンカーを避ける 15% (90% PI 4–53%)；飲水に消毒剤の添加 14% (90% PI 3–36%)；鶏舎入り口の衛生的な前室 12% (90% PI 3–50%)；鶏舎毎に指定された道具を使用 7% (90% PI 1–18%)。

Assessment question 3: 選択したコントロールオプションの利点及び欠点は？
利点：

- いくつかの手段は容易に適用できること（例. 衛生バリア、飼料への添加物の添加）、
 - 鶏の健康の改善（例. バイオセキュリティ活動）、
 - より良い肉養鶏の動物愛護（例. 間引きの中止）または
 - 他の病原体に対する交差的な保護（例. 飲水の処理、飼料添加物）。
- 欠点には

- 投資が必要（例. 前室を設けるための構造的な変更が必要）,
- コントロールの欠如（例. 農場は鶏舎周囲の土地を保有していないので、近隣に他の動物が侵入することを防げない） or
- 飼料または飲水の減少による肉用鶏の増体の減少（例. もし添加物が官能的に悪影響（味、臭い、見ため）餌や飲水が鶏にとってまずくなる場合）.

Assessment question 4: CO を組み合わせた効果は？

- 複数のコントロール活動がカンピロバクターの鶏舎への侵入及び鳥の感染を防ぐために高い効果があることが予想される。
- カンピロバクターが腸管定着するリスクを最小にするためには、 バイオセキュリティに関連するすべてのコントロール活動を完全に実施しなければならない。
- 各々のコントロール活動の効果に関する不確実性のレベルが大きいため、コントロール活動を組み合わせた効果を定量することはできない。コントロールオプションのなかには他の CO の効果を強化するものもあるし、逆に減じるオプションもある。
- もし CO のターゲットが関係していないなら、陽性率と菌数をターゲットにした2つの CO を組み合わせることが累積的影響をもたらすかもしれない。

- (2) 定量的リスク評価 (確率論的リスク評価事例)
- ⑤ Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) State of Knowledge Relating to the Contamination of Broilers with *Campylobacter* and Assessment of the Impact of Interventions at Different Stages of the Food Chain in France; Collective Expert Appraisal Report; Anses: Fougères, France, 2018: 1-81
- 鶏肉のカンピロバクター汚染
- 実施期間：フランス ANSES、2018 年 10 月



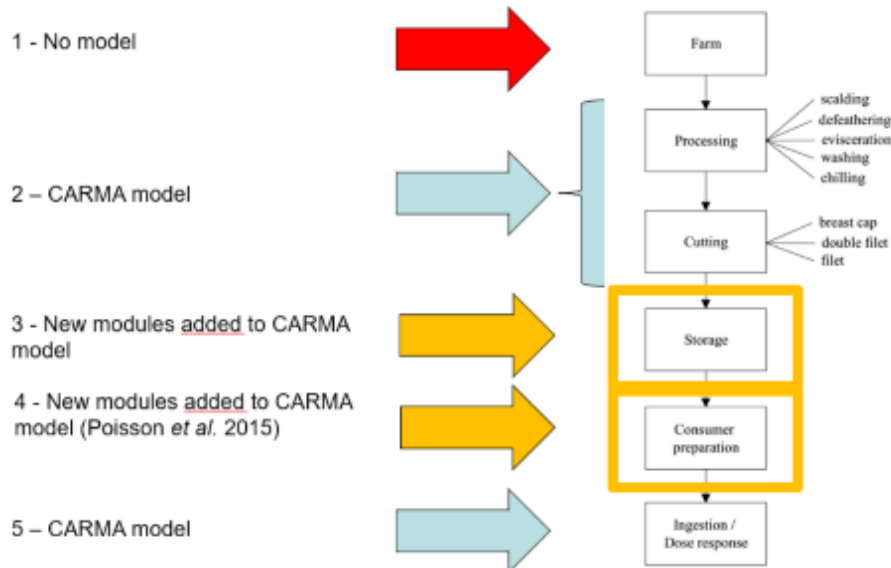
【概要】

- ・2011 年の EFSA の意見書以降に公表された科学的知見の収集、
- ・仏国内のカンピロバクター患者数のベースラインを推計
- ・フードチェーンの各段階における効果的な介入措置を評価。
- ・評価モデルの設計では、オランダで開発された食鳥処理 26 場の定量モデル (CARMA モデル) に、保存と冷蔵工程を含む仏の消費段階の定量モデルを組み込んで、定量的リスク評価を実施した。

【リスク評価モデル】

食鳥処理と食肉処理 (カット) 及び用量反応の部分は CARMA モデルを用い、

- 1 新たに調理前の保管と、消費者による下処理のモジュールが追加された。



- 2
- 3 消費される鶏肉の 70%が仏産で 97%が仏市場で販売されていることから仏モ
- 4 デルが考えられた。

- 5 水色矢印：CARMA モデル

- 6 黄色矢印：新たに調理前の保管と、消費者による下処理のモジュールが追加

7

- 8 【結果】

- 9 予想される効果を達成するための介入例（農場及び食鳥処理場）

Table 6: Examples of potential interventions to achieve expected effect

Step of the model	Scenario	Parameter	Effect of intervention	Potential intervention
Primary production	A1a	Prevalence	-10% (70-10 = 60% prevalence interflocks)	Indoor flock only : • Fly screen <u>or</u> • Stop thinning <u>or</u> • Slaughter age
	A1b	Prevalence	-30% (70-30 = 40% prevalence interflocks)	Indoor flock only : • Fly screen
	A2	Concentration	- 0,5 log	• Vaccination <u>or</u> • Phage application <u>or</u> • chemical and biological substances added to feed or drinking water
	A3	Concentration	- 1 log	
	A4	Concentration	- 1,5 log	
	A5	Concentration	- 2,5 log	
Slaughter	B4	Chilling	- 1 log	Optimizing the main parameters (temperature, duration, air velocity) but very dependent of the initial <i>Campylobacter</i> contamination

10

11 表○ 農場及び食鳥処理場でのシナリオ、その効果、介入方法が示されている。

12

13 農場での介入によるリスク低減効果

14

Table 7: Effect of interventions at the farm

Phase	Scenario	Variable	Reduction	Nr cases	Risk reduction (%)
	Baseline			272 930	
Primary production	A1a	Prevalence interflocks	From 70 to 60%	233 940	14
	A1b	Prevalence interflocks	From 70 to 40%	155 960	43
	A2	Concentration	0.5 decimal reduction	148 560	46
	A3	Concentration	1 decimal reduction	77 800	71
	A4	Concentration	1.5 decimal reductions	41 760	85
	A5	Concentration	2.5 decimal reductions	18 780	93
	A6	Prevalence interflocks concentration	From 70 to 60% 0.5 DR	128 570	53

農場での介入によるリスク低減効果を描くシナリオに応じて、リスクの低減を示している。

農場段階で、鶏群間の汚染率を 70%から 60%、45%に下げること、リスクはそれぞれ 14%、43%低減することが推定された。盲腸便中の菌数を 0.5, 1, 1.5 及び 2.5 log 低下することができれば、リスクはそれぞれ、46、71、85、93%低減することが推定された。鶏群間の汚染率を 70%から 60%に下げ、また盲腸便中の濃度を 0.5 log 下げられれば、リスクは 53%下がると推定された。

食鳥処理場及び消費段階での介入によるリスク低減効果

Table 8: Effect of the interventions at the slaughter stage

Phase	Scenario	Operation	Reduction	Nr cases	Risk reduction (%)
	Baseline			272 930	
Slaughter	B1	Scalding	1 decimal reduction	264 560	3
	B2	Plucking/defeathering	Probability of leakage reduced by 10%	261 470	4
	B3	Evisceration	Probability of leakage reduced by 10%	264 520	3
	B4	Chilling	1 decimal reduction	66 570	76
	B5	Plucking / defeathering Evisceration Chilling	Probability of leakage reduced by 10% Probability of leakage reduced by 10% 1 decimal reduction	60 030	78

At this stage, only the intervention at chilling results in a risk reduction of 76%. The other interventions tested show a risk reduction lower than 5%.

7.5.3 Interventions at the consumer stage

Table 9: Effect of interventions at the consumer stage

Phase	Scenario	Operation	Compliance	Nr cases	Risk reduction (%)
	Baseline			272 930	
Consumer	C1a	Hand washing	100%	270 260	1
	C1b	Cleaning of utensils	100%	40 080	85
	C2	C1a + C1b		35 670	87

The prevention of cross contamination through the cleaning of the utensils (knife, board, fork, plate) appears

Table 8. : 食鳥処理段階の各シナリオに応じたリスクの低減を示している。

Table 9. : 消費段階の各シナリオに応じたリスクの低減を示している。

食鳥処理段階

湯漬け、脱羽工程での腸内容物の漏れを 10%低減、内臓摘出時の腸内容物の漏

1 れを 10%低減、これらのシナリオ単独では、リスクは3から4%しか下がらな
2 いことが推定された。その一方、冷却工程で 1log 菌数を下げることができれば、
3 リスクは 76%下がることが推定された。脱羽工程での腸内容物の漏れを 10%低
4 減、内臓摘出時の腸内容物の漏れを 10%低減かつ冷却工程で菌数を 1 log 下げ
5 られれば、リスクは 78%低減されると推定された。

6 7 消費者段階

8 すべての消費者が調理器具を適切に洗浄することで、85%のリスク低減、手の
9 洗浄と調理器具の洗浄を組み合わせることで、87%のリスク低減が推定された。

10 11 【結論】

12 フランスの肉用鶏製品に含まれるカンピロバクターの状況については、2008
13 年のヨーロッパのベースライン調査以来ほとんど新しいデータが生成されてい
14 なかった。

15 しかし、フードチェーンのさまざまな段階でのさまざまな介入が 2010 年以
16 来、世界でテストされていた。そして。これまで、肉用鶏生産部門で採用され
17 るのに十分な適用性のあり、効果的であることが証明された単一の介入方法
18 はない。農場または食肉処理場での商業的条件におけるこれらのコントロールト
19 ライアルが不足しており、有効性と適用性を定量的に評価することはできな
20 かった。

21 この作業で完成した CARMA 改良モデルは、冷却モジュールと消費者フェーズ
22 を備えており、いくつかのシナリオの効果を推定できた。

23 ・農場では、特定の仮説によると、モデルは盲腸便中の菌数を下げる介入が最
24 も効果的であることを示唆した。したがって、たとえば、予防接種が利用可能
25 になれば、公衆衛生を保護するのに非常に効果的である可能性がある。例え
26 ば、ワクチン接種による盲腸便中のカンピロバクター菌数を 1.5 Log の削減を
27 達成すれば、リスクを 85%減少すると推定された。

28 ・食鳥処理場では、湯漬け、脱羽中の消化管内容物の漏れを 10%削減、内臓摘
29 出時の消化管内容物の漏れを 10%削減では、相対リスクは 3% or 4% の減少
30 しか得られない。これに対し、冷却工程が非常に効果的で、1log の菌数低下
31 で、相対リスクを 76%減少することが推定された。

32 ・消費者フェーズでは、手洗いのみでは相対リスクは 1%しか下がらないが、
33 すべての消費者が調理器具を適切に洗浄することにより、リスクを 85%低減で
34 きると推定された。

(2) 定量的リスク評価事例

⑥Dogan OB, Clarke J, Mattos F, Wang B: A quantitative microbial risk assessment model of *Campylobacter* in broiler chickens: Evaluating processing interventions. Food Control 2019; 100: 97-110

食鳥処理での介入を評価するための肉用鶏のカンピロバクターの定量的微生物リスク評価モデル

A Quantitative Microbial Risk Assessment Model of *Campylobacter* in Broiler Chickens: Evaluating Processing Interventions

Onay Burak Dogan, Jennifer Clarke, Fabio Mattos, Bing Wang,
University of Nebraska-Lincoln, U.S.A.

【概要】

カンピロバクター属に関連する公衆衛生リスクを調査するために、確率論的、証拠に基づく、定量的な微生物リスク評価モデルが開発された。モデルは肉用鶏の汚染農場からフォークまでの米国の供給システムをカバーしたものであった。この研究の目的は鶏肉の消費とそれに関連する消費者の健康の安全を保護するため、食鳥処理場における介入戦略の有効性を評価することであった。ベースラインモデルは、ほとんど一般的な産業慣行に基づき、モデルの開発と検証のための最小限の介入による構築された。

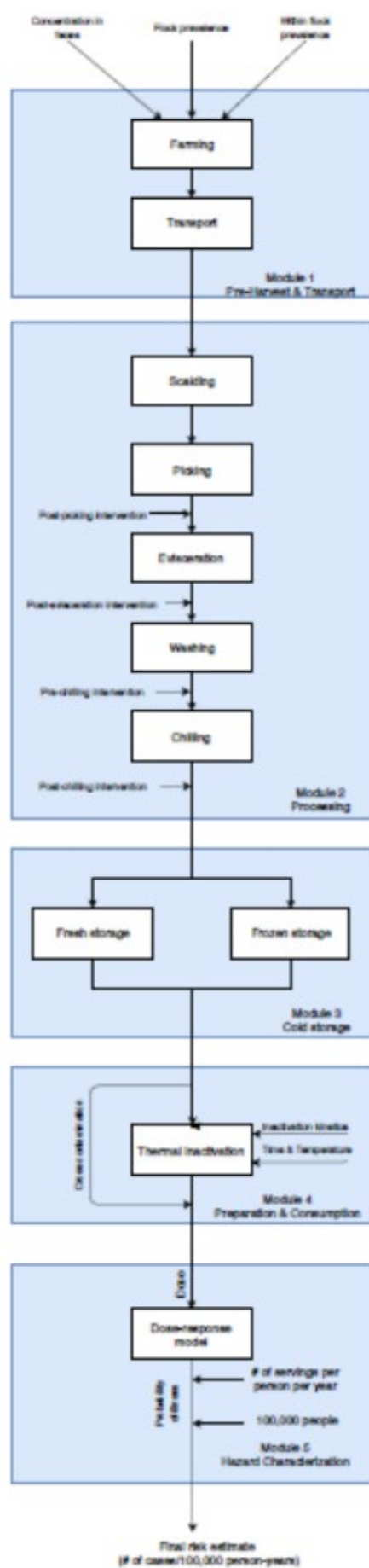
モデルの最も重要な入力パラメータを決定し、サプライチェーンに沿った重要な管理ポイントを特定するために、感度分析が実施された。シナリオ分析を用いて、肉用鶏のカンピロバクター汚染および消費者のカンピロバクター症のリスクを低減するための代替処理戦略、化学的処理助剤、および物理的方法を含む、処理中に適用可能な介入措置の有効性を比較した。入力モデルのパラメーター分布は、リスク推定におけるバイアスの可能性を減らすために、便宜上文献から収集された証拠ではなく、以前の系統的レビューとメタ分析研究の結果によって入力された。最終的なリスク推定値は、年間10万人あたりのカンピロバクター症の症例と介入の有効性は、ベースラインと比較した介入が実施された場合のカンピロバクター症リスクの相対的变化として表された。モデルは、ベースラインとして、年間100,000人あたり274 (95%CI: 0-561) の症例の発生を推定した。消費者の食品安全慣行と食鳥処理場での操業は、肉用鶏の消費によるカンピロバクターへの消費者の曝露を減らすための対象となる最も重要な要因の1つであった。シナリオ分析の結果は、化学処理助剤（個別または組合せ）がリスク推定値を大幅に削減できることが示唆された。このモデルは、現在の家禽の処理慣行または代替介入戦略の実施にともなうリスクの変化についてリスクベースの意思決定を行うリスク管理者のためのフレームワークを提供す

1 ることが期待された。

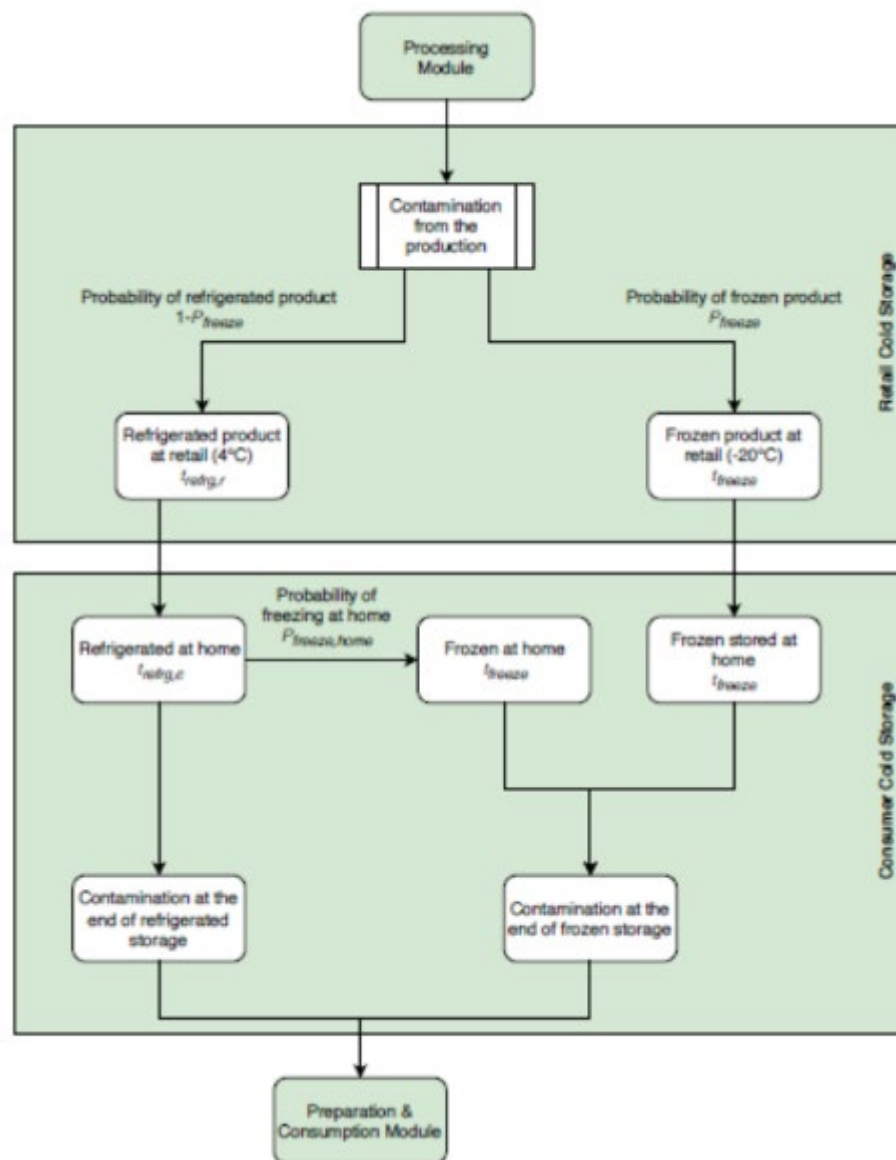
2

3 【モデルアプローチ】

4 肉用鶏の農場から喫食までのサプライチェーンにおけるカンピロバクターの移
5 行がモデル化された。モデルは i)農場及び食鳥処理場への輸送, ii)食鳥処理、(iii)
6 冷蔵保管、(iv)調理と喫食の4つのモジュールに分けて作成された。鶏肉の喫食
7 に伴い摂取された *Campylobacter* は用量反応モデルと組み合わせ、人口10万
8 人あたりの年間患者発生数が推定された。概念的なモデルは下図のとおりであ
9 る。



図○ (Fig 1) 本研究の流れを上から四角 (i)農場及び食鳥処理場への輸送、(ii)食鳥処理、(iii)冷蔵保管、(iv)調理と喫食) で示した 4 つのモジュールと一番下のモジュール (用量反応モデル) で 10 万人当たりの発症数を予測した。

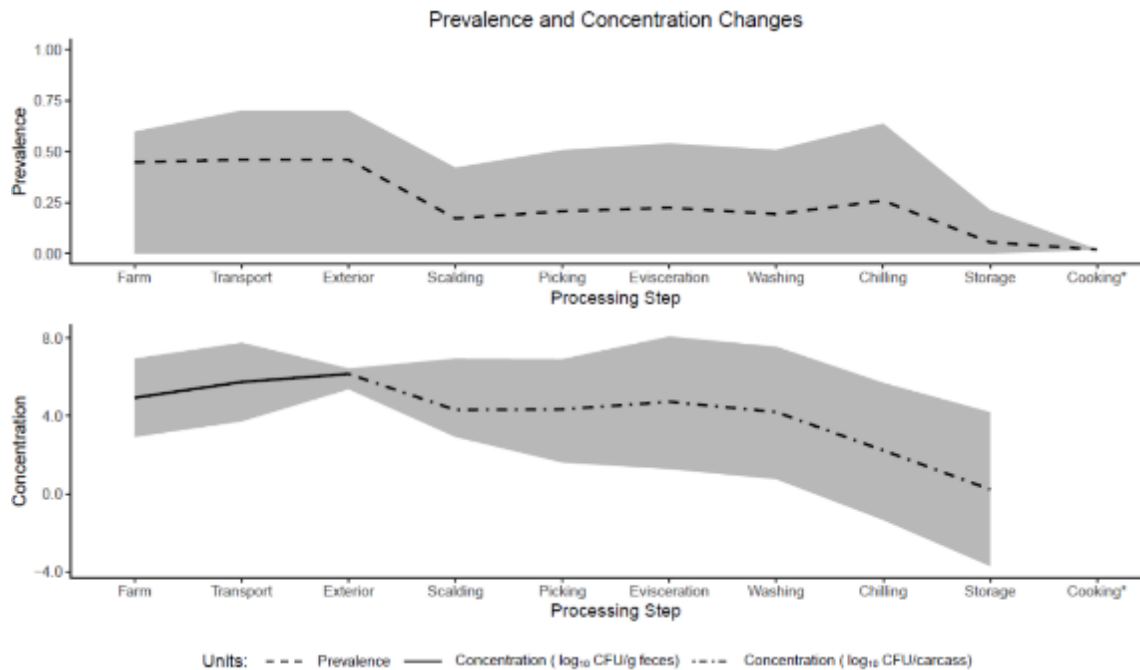


図○. 本研究では、実際には鶏肉が処理後「冷蔵」もしくは「冷凍」保存されるため、その実際の流れを詳細に示した。小売り・家庭の両者に対応した状況をそれぞれに対応した各種パラメータが設定してある。

【結果】

加工モジュールではベースラインオペレーションは、湯漬け、介入なしの脱

- 1 羽、介入なしの内臓摘出、内外洗浄、及び添加物なしの水冷から構成した。こ
2 の条件で、人口 10 万人辺りの年間カンピロバクター症患者数は 274 (95% CI:
3 0 – 561)と推定された。



4
5 Figure 3. 肉用鶏のサプライチェーンを通じての *Campylobacter* の汚染率と濃度
6 (log₁₀CFU/unit)の変化、線が平均値、グレーエリアが 5 パーセンタイル と 95 パーセンタ
7 イルのインターバルを表す。

8
9 上図：汚染率、下図：菌数 (log₁₀CFU/unit)

10 上図の縦軸：比率（パーセント）、横軸：農場（左端）から料理（右端）に至る経過。

11 下図の縦軸：菌数 (log₁₀CFU/unit)、横軸：農場（左端）から料理（右端）に至る経過。

12 下図の右端(Cooking)がないのは、値が小さく、図に表せないため。

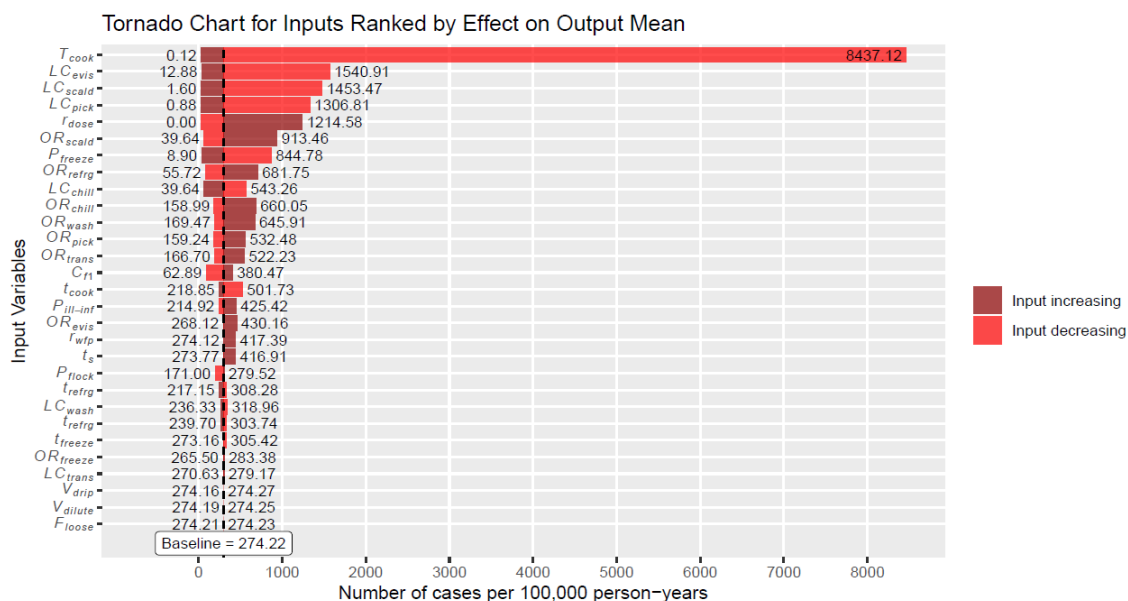
13 食鳥処理で処理直残の外部の汚染から冷却までに菌数の 4-log 減少（およそ 6
14 to 2 log₁₀CFU/carcass）と、冷蔵保管中に追加で 1-log の汚染低減が推定され
15 た。同様の傾向が汚染率の変化でも観察され、食鳥処理モジュールでおよそ 45%
16 から 25% に下がると推定された。

17 【感度分析】

18 図○参照

19 加熱調理の温度が最もリスクを下げる因子で、すべての消費される肉用鶏が適
20 切に加熱されていれば($T_{cook} > 89.7^{\circ}\text{C}$)、1 年間の人口 10 万人当たりの患者数は
21 0.12 人にまで減少し、逆にすべての肉用鶏が加熱不十分($T_{cook} < 45.2^{\circ}\text{C}$)の場合、
22 1 年間の人口 10 万人当たりの患者数は 8437 人にまで増加すると推定された。
23

- 1 食鳥処理前及び輸送モジュールの感度分析で重要なパラメータは輸送中の汚染
 2 率の変化(ORtrans)、次いで糞便中の濃度(Cf1)、移行率 (rwfp), 鶏群間の汚染率
 3 (Pflock) 及び輸送中の濃度の変化(LCtrans)であった。他のモジュールと比較し
 4 て、農場及び輸送モジュールは最終的なリスクに影響は少ない。食鳥処理場への
 5 輸送は汚染濃度と汚染率の両方を上昇させるため、輸送中の肉用鶏の愛護
 6 broiler welfare の改善に努力すべきであると考えられた。



7

8 図○

- 9 計算結果において、影響が大きい変数を明らかにするトルネードチャートを用いて、感度分析の結果を示した。

11

12 縦軸；リスクを低下させる因子、横軸：10万人当たりの年間発症人数

13 縦軸の因子（主なもの）

14 ・T_{cook}：Cooking temperature、(Ecosure, 2008)15 ・LC_{evis}：Concentration change during evisceration16 ・LC_{scald}：Concentration change during scalding17 ・LC_{pick}：Concentration change during picking18 ・OR_{refrg}：Prevalence change during refrigerated storage19 ・t_{cook}：Cooking time20 ・OR_{evis}：Prevalence change during evisceration21 ・t_{freeze}：Frozen storage time (retail + consumer)22 ・OR_{freeze}：Prevalence change during frozen storage23 ・V_{dilute}：Volume of fluid assumed to dilute loosely

24

1 【シナリオ解析】

Table 7. Analysis of single intervention scenarios

Scenario	Mean Risk Estimate	95% CI		Intervention Efficacy (%)
Baseline	274.2170	0***	561.6843	
1. Soft scalding	502.9806	118.5666	887.3946	Not effective*
2. Scalding with additives	34.1030	0***	76.8889	87.56
3. Defeathering with cloacal plugging	1.0413	0***	3.0667	99.62
4. Air chilling	635.9007	135.8658	1135.9360	Not effective*
5. Immersion chilling with chlorine	144.4037	0***	326.7298	47.34
6. Spray wash	288.3403	0***	588.2175	Not effective*
7. MAP subgroup – Air	171.7150	0***	471.2256	37.38
8. MAP subgroup – CO ₂ :O ₂ :N ₂	724.1413	167.3816	1280.9010	Not effective*
9. MAP subgroup – 100 O ₂	167.6932	0***	458.6016	38.85
10. MAP subgroup – 100 CO ₂	1.7194	0***	4.8781	99.37
11. MAP subgroup – Vacuum	1856.5260	1002.0800	2710.9710	Not effective*
12. PA Spray subgroup – CPC				
Post-evisceration	0.0010	0***	0.0021	100.00**
Post-chilling	0.0005	0***	0.0012	100.00**
13. PA Spray subgroup – ASC				
Post-evisceration	0.1382	0***	0.3068	99.95
Post-chilling	10.0244	0***	23.8147	96.34
14. PA Spray subgroup – TSP				
Post-evisceration	31.0066	0***	90.1887	88.69
Post-chilling	91.7926	0***	269.5013	66.53
15. PA Spray subgroup – PAA				
Post-evisceration	0.7757	0***	2.1455	99.72
Post-chilling	0.7361	0***	2.1049	99.73
16. PA Immersion subgroup – ASC				
Post-picking	0.0009	0***	0.0020	100.00**
Post-evisceration	0.0017	0.0000	0.0034	100.00**
Post-chilling	0.0869	0***	0.2548	99.97
17. PA Immersion subgroup – TSP				
Post-picking	1.3844	0***	3.4133	99.50
Post-evisceration	19.9036	1.0968	38.7103	92.74
Post-chilling	241.3876	0***	521.0552	11.97
18. PA Immersion subgroup – PAA				
Post-picking	0.1707	0***	0.4882	99.94
Post-evisceration	34.4327	0***	101.8219	87.44
Post-chilling	0.7361	0***	2.1049	99.73
19. Rapid Cooling (N ₂ immersion)	155.1844	0***	433.5357	43.41

2

3 脱羽中のクロアカ（総排泄腔）からの糞便の漏洩防止措置や、脱羽後やチラ
4 ー冷却中の殺菌剤（cetylpyridinium chloride (CPC), acidified sodium
5 chlorite(ASC), trisodium phosphate (TSP) 及び peroxy acetic acid (PAA)）の
6 使用（噴霧又は浸漬）は、高いリスク低減効果があると推計された。

1 体系レビュー及びメタアナリシス(SR-MA)において、20の別々のシナリオ分
 2 析を実施した。「Not effective」の表示はリスク増加で効果が認められないもの
 3 を示す。

Table 8. Analysis of multiple intervention scenarios

Scenario	Mean Risk Estimate		95% CI	Intervention Efficacy (%)
1. Soft scalding + CPC spray	0.0005	0***	0.0012	100.00*
2. Soft scalding + ASC spray	0.6710	0***	1.4887	99.76
3. Soft scalding + TSP spray	96.7994	0***	280.6011	64.70
4. Soft scalding + PAA spray	2.8465	0***	8.2805	98.96
5. Soft scalding + ASC immersion	0.0018	0***	0.0036	100.00*
6. Soft scalding + TSP immersion	90.8003	0***	188.6969	66.89
7. Soft scalding + PAA immersion	0.0495	0***	0.1216	99.98
8. Air chilling + CPC spray	0.0002	0***	0.0006	100.00*
9. Air chilling + ASC spray	4.2657	0***	11.8624	98.44
10. Air chilling + TSP spray	156.8175	0***	458.2892	42.81
11. Air chilling + PAA spray	39.5495	0***	116.8436	85.58
12. Air chilling + ASC immersion	0.0017	0***	0.0038	100.00*
13. Air chilling + TSP immersion	364.9200	126.9427	602.8973	Not effective**
14. Air chilling + PAA immersion	0.5508	0***	1.2963	99.80
15. Soft scalding + Air chilling	777.4146	236.9543	1317.8750	Not effective**
16. Soft scalding + Air chilling + CPC spray	0.0003	0***	0.0006	100.00*
17. Soft scalding + Air chilling + ASC spray	16.1822	0***	44.9670	94.10
18. Soft scalding + Air chilling + TSP spray	169.8526	0***	471.7677	38.06
19. Soft scalding + Air chilling + PAA spray	107.2004	0***	315.4751	60.91
20. Soft scalding + Air chilling + ASC immersion	0.1714	0***	0.5062	99.94
21. Soft scalding + Air chilling + TSP immersion	181.4810	0***	382.7243	33.82
22. Soft scalding + Air chilling + PAA immersion	18.4010	0***	41.8100	93.29

6 多くの効果的な組み合わせは CPC スプレー, PAA スプレー, ASC 浸漬また
 7 は PAA 浸漬によって達成された。

8 Soft scalding + air chilling だけでは効果的ではなく、リスクは増加する。

9 22の組み合わせのシナリオ分析を実施し、それらの結果を示した。信頼区間
 10 がマイナスになった場合は「0」として表記。

(2) 定量的リスク評価事例

- ⑦Habib I, Coles J, Fallows M, Goodchild S: Human campylobacteriosis related to cross-contamination during handling of raw chicken meat: Application of quantitative risk assessment to guide intervention scenarios analysis in the Australian context. International Journal of Food Microbiology 2020; 332(2):108775
- 生の鶏肉の取扱い中における交差汚染に関連したヒトのカンピロバクター症：オーストラリアにおける介入のシナリオ解析をガイドするための定量的リスク評価の適用

Human campylobacteriosis related to cross-contamination during handling of raw chicken meat: application of quantitative risk assessment to guide intervention scenarios analysis in the Australian context

Ihab Habib ^{a, b, c*}, John Coles ^d, Mark Fallows ^d, Stan Goodchild ^d

^a Veterinary Medicine Department, College of Food and Agriculture, United Arab Emirates University (UAEU), Al Ain P.O. Box 1555, UAE

^b School of Veterinary Medicine, Murdoch University, 90 South Street, Murdoch Western Australia 6150, Australia

^c High Institute of Public Health, Alexandria University, 165 ElHoreya Road, Alexandria, Egypt

^d Department of Health Western Australia, 189 Royal Street, East Perth Western Australia 6004, Australia

【概要】

序論：オーストラリアの鶏肉の小売り段階でのカンピロバクターについて限られたベースラインサーベイ調査は、過去10年間に公開されていた。この研究は、リスク評価と管理戦略を支援するための定量的なベースラインデータを生成した。

方法：生の家禽製品（n=315）は、西オーストラリア（WA）の大都市パースにある小売スーパーマーケットから1年間（2016年から2017年）に購入された。カンピロバクター濃度は、すべてのサンプルで直接とまつ法によって決定されたが、サンプルの58.7%（185/315）では、標準的な方法に従って、直接とまつ法と組み合わせて増菌培養を使用して検査が行われた。

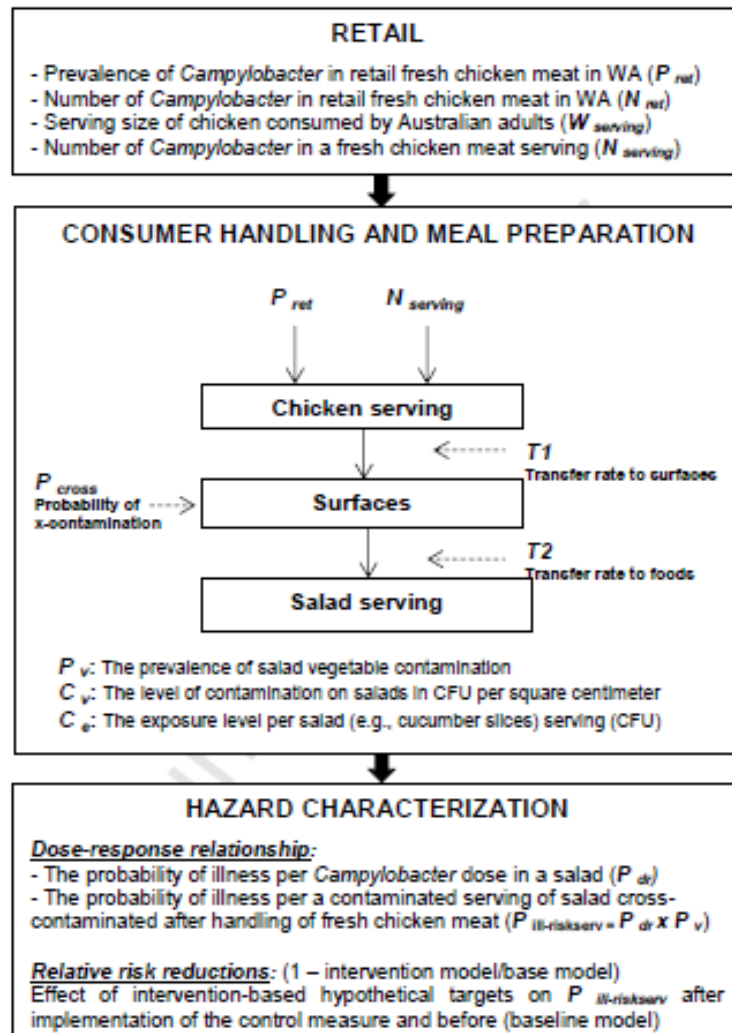
結果：直接とまつ法を使用すると、サンプルの23.8%（75/315）からカンピロバクターが回収されたが、増菌培養（～1g）を使用した場合、サンプルの53.7%（100/186）がカンピロバクター陽性だった。カンピロバクターの数は、鶏肉部

分とたいの 76.2%が $<1 \log_{10}$ コロニー形成単位 (CFU) / g で汚染され、サンプルの 18.7%が $\geq 2 \log_{10}$ CFU / g で汚染されていることを明らかになった。試験した 315 の鶏肉サンプルの平均カンピロバクター濃度は $1.82 \log_{10}$ CFU / g ($\pm$ 標準偏差 (SD) $2.26 \log_{10}$ CFU / g) であった。皮をつけた鶏肉製品からの直接とまつ法によるカンピロバクターの回復の可能性は、皮を剥いた製品形態よりも有意に高かった (オッズ比[OR] 4.4; $p < 0.0001$)。カンピロバクターの最高数は手羽先に関連していた ($1.94 \log_{10}$ CFU / g [$\pm$ SD $2.26 \log_{10}$ CFU / g])。製品形態と調達家禽加工施設との間の相互作用に基づいて、カンピロバクター数にいくつかの有意な変動があった。

結論: この研究は、オーストラリアの小売鶏肉におけるカンピロバクターの状態に関する最初の公表された研究をほぼ 10 年ぶりに更新した。この研究の結果は、西オーストラリア州の家禽チェーンの微生物安全性の評価に関する知識に追加され、カンピロバクターの定量的リスク評価の将来の開発のためのインプットとして使用することができる。

1 【モデルアプローチ】

Fig. 1. The conceptual framework of the QMRA model of *Campylobacter* spp. related to cross-contamination during handling of fresh chicken meat



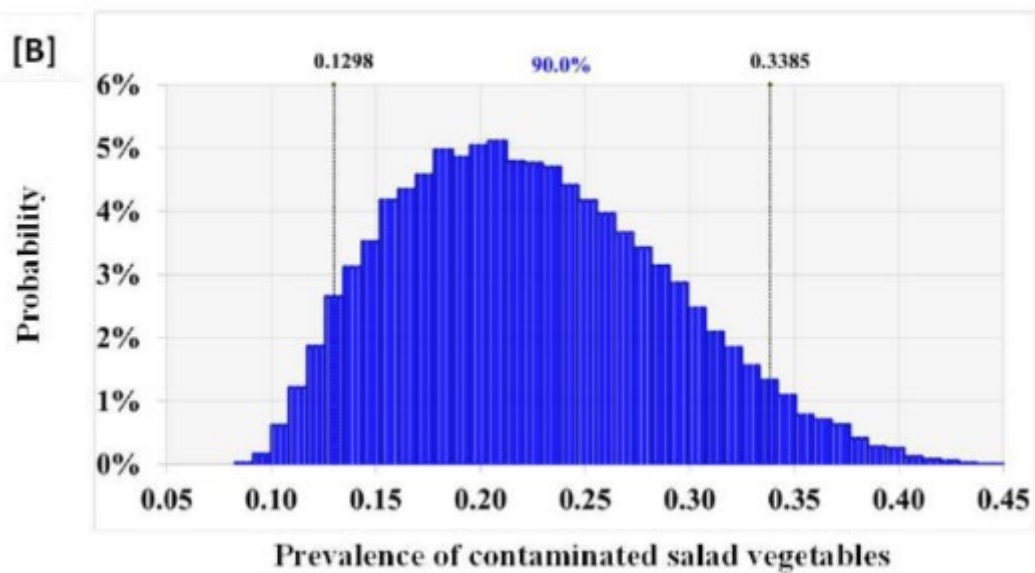
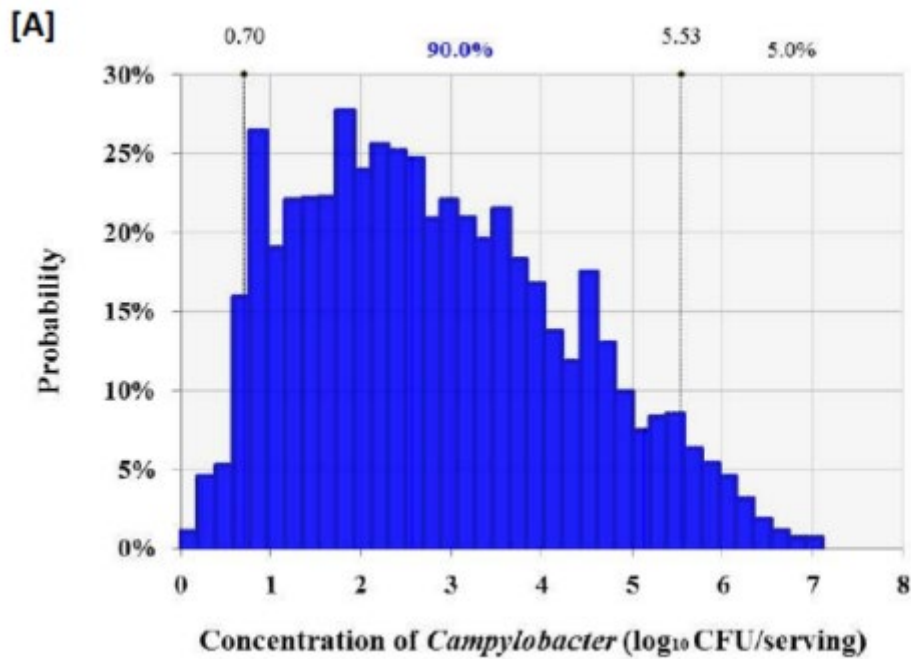
家庭調理において、生の鶏肉から交差汚染された野菜サラダを喫食することによるカンピロバクターの平均発症確率を予測するため、定量的リスク評価（QMRA）を実施した。

評価モデルには、オーストラリア西部で販売消費される生鮮丸と体及び部分肉由来のカンピロバクター定量データ（2016-17年に、パース市内の小売店から購入した315検体（汚染率は53.7%））を使用した。

家庭調理のパラメータとして、生の鶏肉からサラダへの交差汚染率、サラダのカンピロバクターの汚染レベルを評価モデルに組み込んだ。

1

2 【結果】

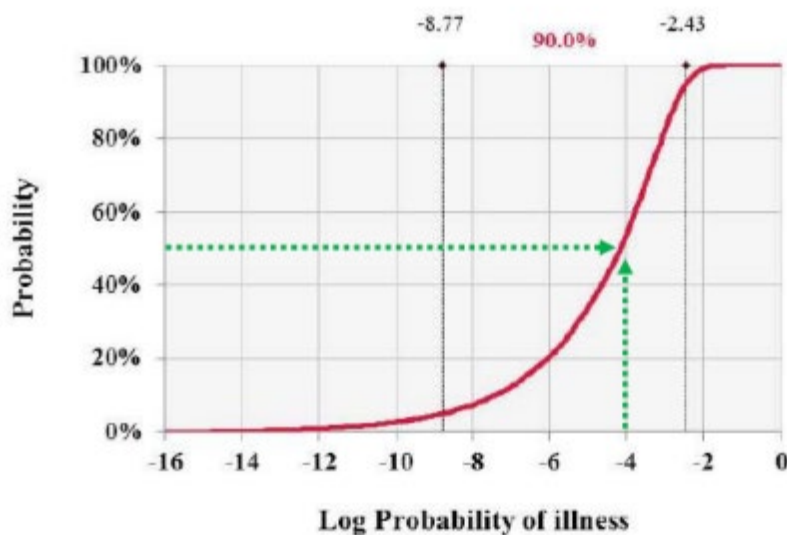


3

4 予測されたサラダ 1 食当たりのカンピロバクター汚染平均濃度は $2.76 \log_{10}$
 5 CFU/ サービング (SD= $1.50 \log_{10}$)、サラダの平均汚染割合は 22.4%であると推
 6 定された。

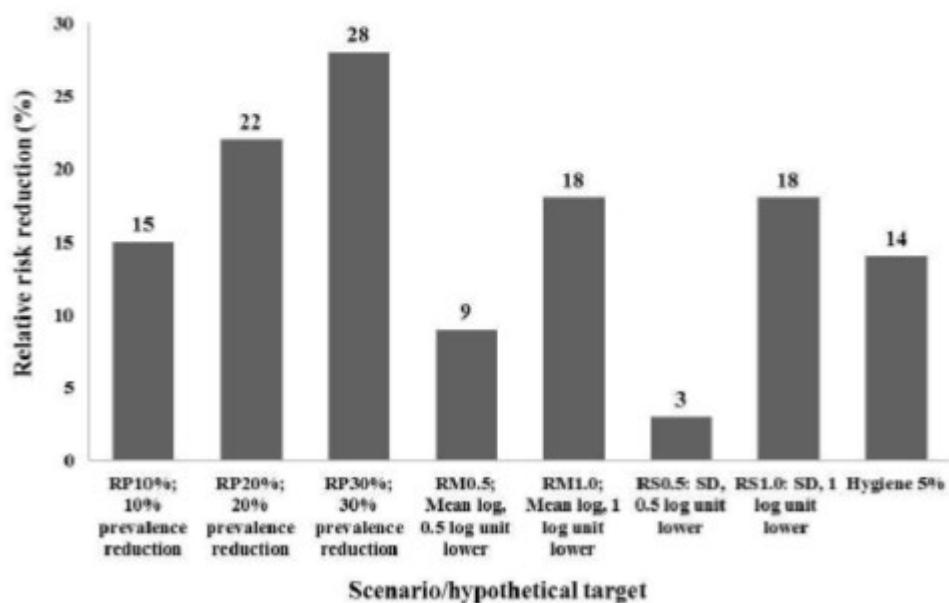
7

Fig. 3. Cumulative ascending distribution for the log probability of illness predicted for *Campylobacter* consumed in a serving of cross-contaminated salad after handling of fresh chicken meat



生鮮鶏肉の取扱いによるサラダの交差汚染によって、予想されるサラダ 1 食
 当たり発症確率は 10^{-14} ～ 10^{-3} の間に分布し、平均は 7.0×10^{-4} (90%信頼区間
 $\pm 4.7 \times 10^{-5}$) と推定された。発症確率 50%は 10^{-4} と推定された。

Fig. 5. Relative risk reduction in the probability of illness (campylobacteriosis) per a serving of cross-contaminated salad after handling of fresh chicken meat. The different scenarios reflect the effect of intervention-based hypothetical targets on P_{illness} after implementation of the control measure and before (baseline model).



- 1 シナリオに伴う相対的なリスクの変化
- 2
- 3 ・市販鶏肉のカンピロバクター汚染率を30%まで低下させることにより、約28%
- 4 の相対リスク減少が得られると予想された。
- 5 ・カンピロバクターの平均汚染濃度を1 log 減少させることにより、約18%の相
- 6 対リスク減少が得られることが予想された。
- 7 ・消費者段階の交差汚染を5%減少させることにより、相対的なリスクを14%減
- 8 少させることができると予想された。
- 9