

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

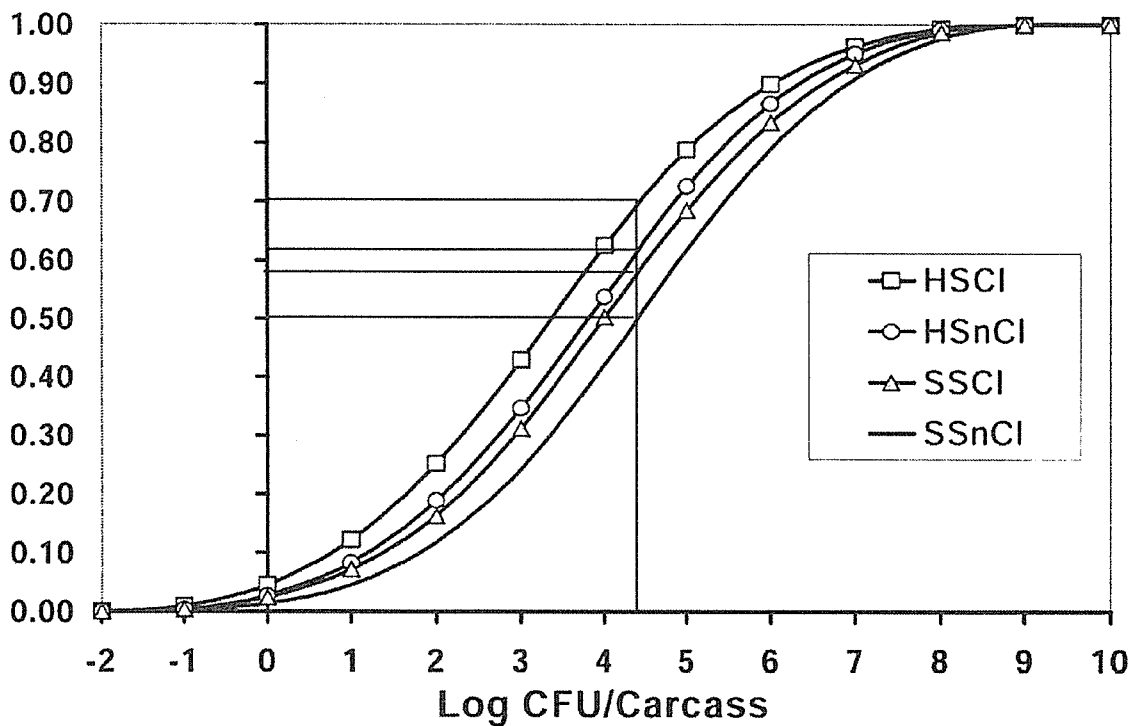


図 2-7 冷却タンク中の汚染鶏肉におけるカンピロバクター濃度の分布 (累積確率)

2) 食鳥処理後の鶏肉の汚染率

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

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

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

また、ここでは、汚染率と検出限界に関する分析についても記載されている。

表 2-19 食鳥処理後の鶏肉の平均汚染率

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

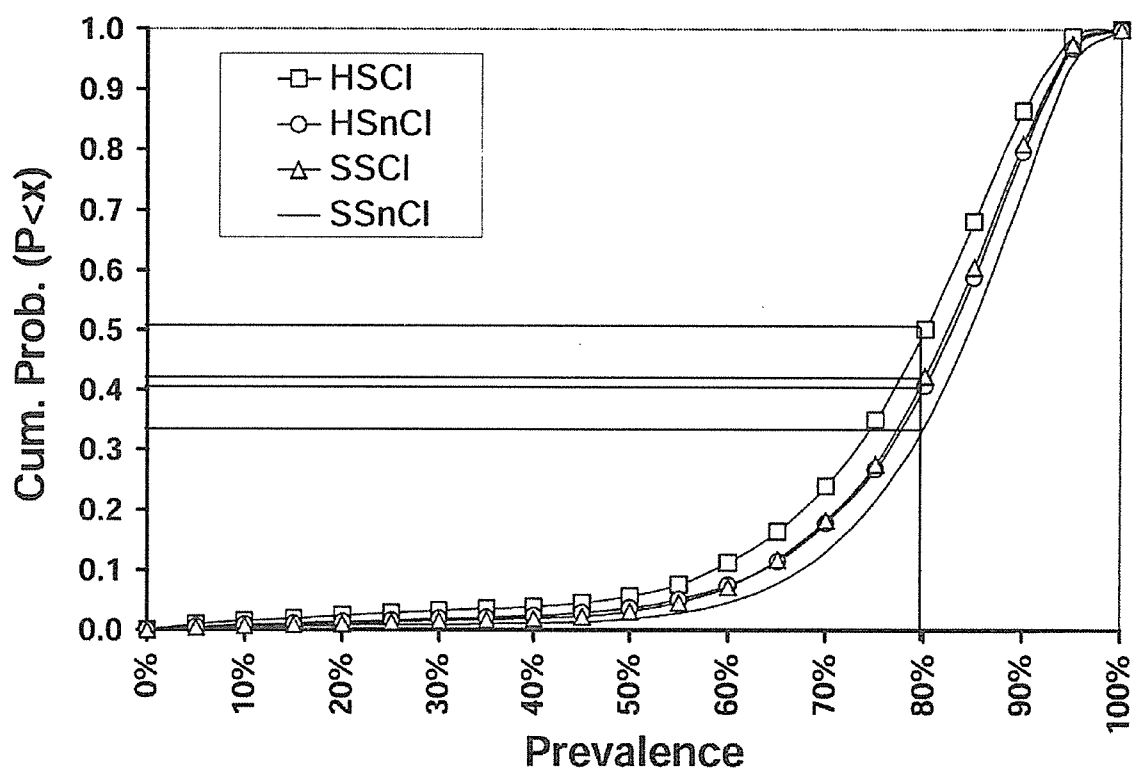


図 2-8 食鳥処理後の汚染鶏肉の汚染率の分布（累積確率）

(2) リスク推定

1) 喫食による曝露

① 喫食1回あたりの平均感染リスク

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

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

表 2-20 喫食1回あたりの平均感染リスク

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

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

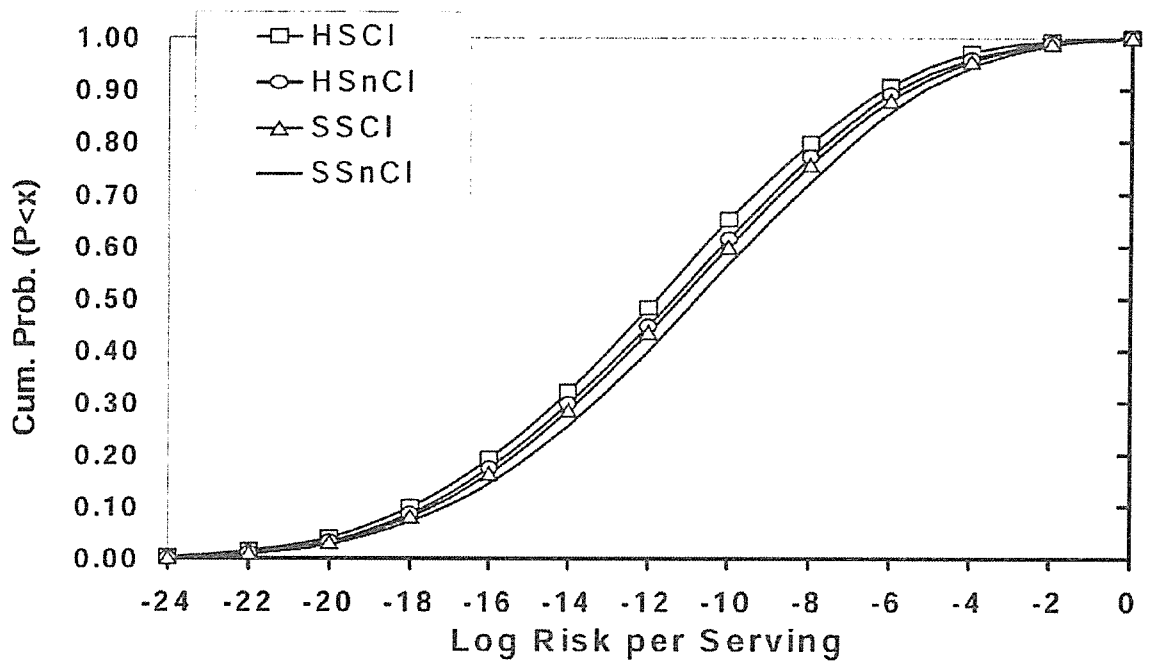


図 2-9 感染リスクの分布 (累積確率)

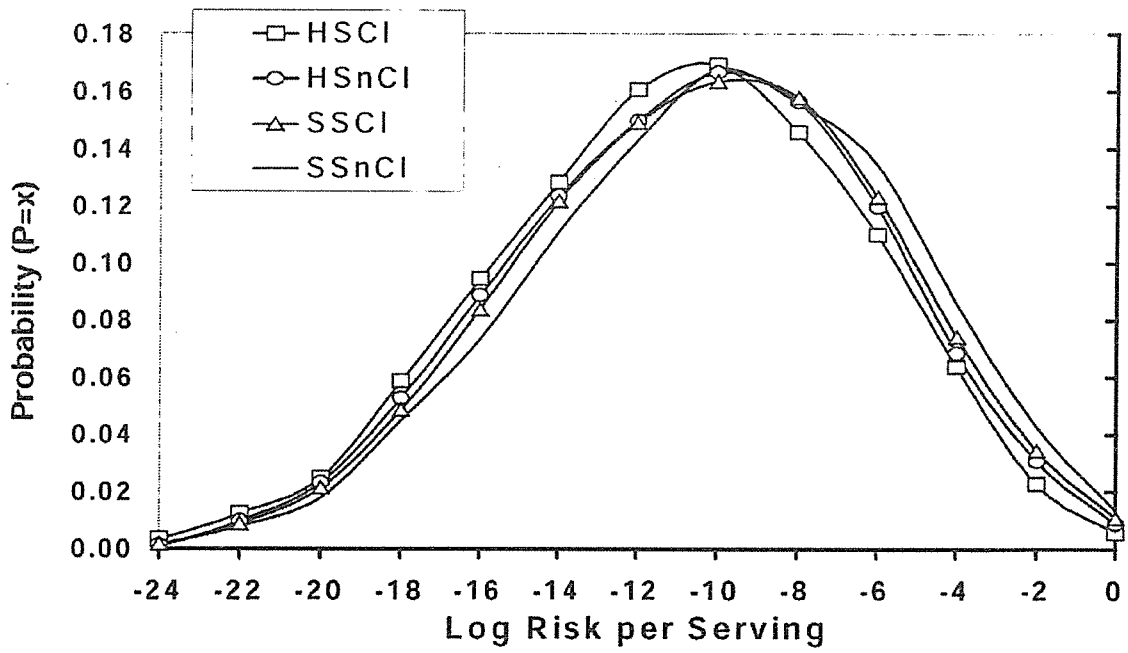


図 2-10 感染リスクの分布 (確率密度)

② 年間感染リスク

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

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

P_A : 年間感染リスク

i : 年間の鶏肉喫食回数

P_{Di} : 喫食 (1日) あたりの感染リスク

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

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

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

表 2-21 年間感染リスク

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

表 2-22 カナダおよびアメリカにおける年間感染者数

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

2) 交差汚染による曝露

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

鶏肉に含まれる水に含まれるカンピロバクター量を推定した結果は図 2-1 1 に示すとおりである。水にカンピロバクターが含まれていない確率は、HSCI で約 60%、HSnCl で約 52%、SSCI で約 48%、SSnCl で約 40%である。逆に言えば、カンピロバクターが水に含まれている確率は SSnCl では約 60%、HSCI では 40%未満である。

鶏肉に含まれる水からの交差汚染による平均感染リスクの推定結果は表 2-2 3 に示すとおりである。この推定結果からは、交差汚染による感染リスクは、喫食によるものよりもかなり高い（約 200 倍）ことが分かる。これは、交差汚染については家庭での調理方法が重要であり、喫食者の行動をより理解し、適切に特徴付けることが必要であることを意味する。

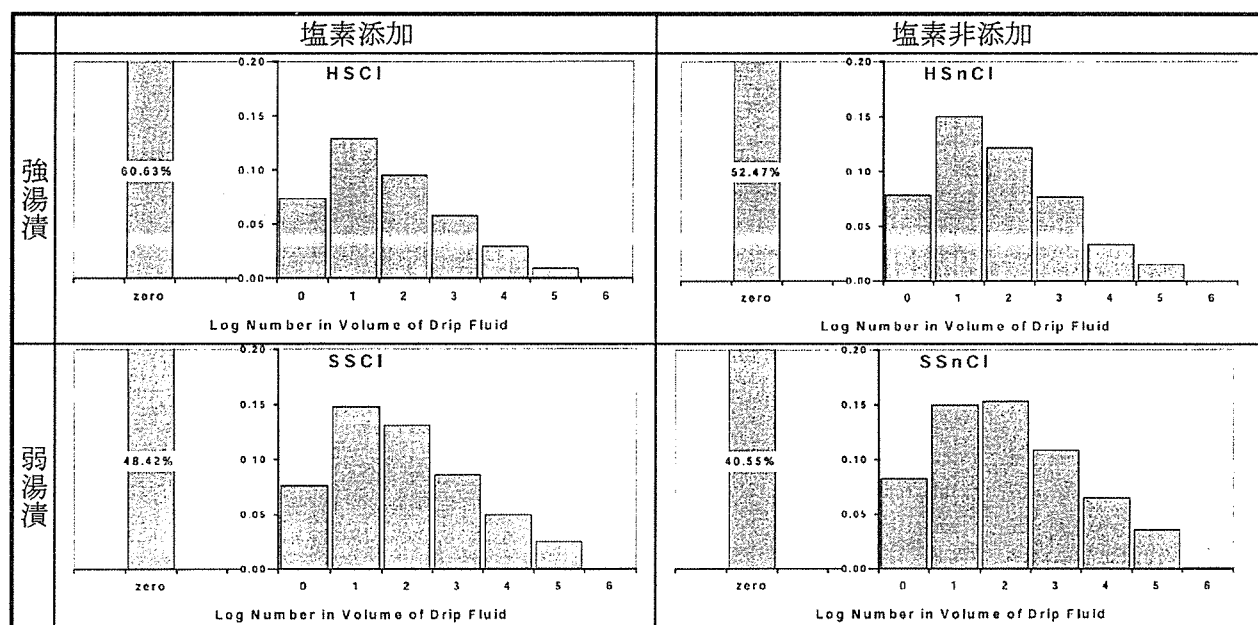


図 2-1 1 鶏肉に含まれる水に含まれるカンピロバクター量

表 2-2 3 鶏肉に含まれる水への曝露による平均感染リスク

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

(3) 感度分析

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

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

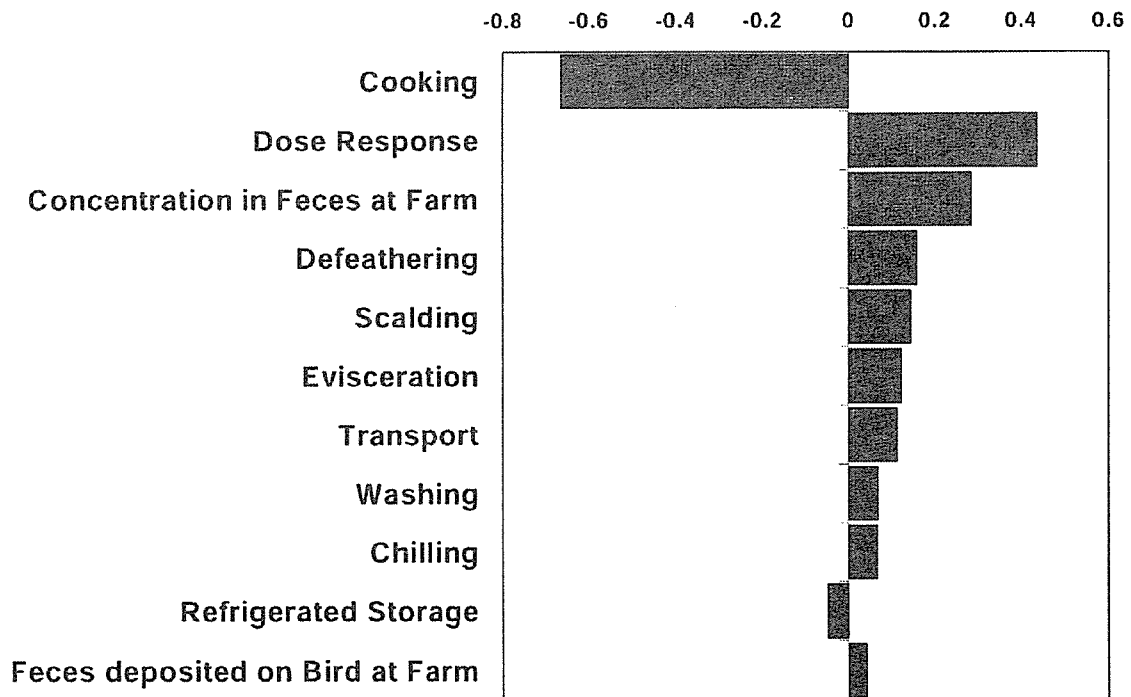


図 2-12 感度分析結果（トルネード図）

1) 調理温度・調理時間

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

2) 用量-反応関係

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

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

3) 農場における糞便のカンピロバクター濃度

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

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

4) 食鳥処理方法

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

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

5) 輸送

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

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

6) Farm-to-Folk での汚染率の変化

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

2.9 結論

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

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

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

2.10 モデル概要

(1) カンピロバクター濃度

| | | | | |
|------|---------------------------------|----------------------------------|---|---|
| 農場 | 糞便中のカンピロバクター濃度(log CFU/g) | | $Cf_F = \text{RiskNormal}(4.95, 1.38)$ | |
| | 鶏体表に付着する糞便濃度(g/羽) | | $fb_F = \text{RiskUniform}(0.50, 5.00)$ | |
| | 鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽) | | $C_F1 = Cf_F + \log(fb_F)$ | |
| 輸送 | 輸送前の鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽) | | $C_pre_T = C_F1$ | |
| | 輸送による汚染量の増大(log CFU) | | $Mag_T = \text{RiskTriang}(0.00, 1.50, 3.00)$ | |
| | 輸送後の鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽) | | $C_post_T1 = C_pre_T + Mag_T$ | |
| | 輸送後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽) | | $C_post_T2 = \log(10^{(C_post_T1) / \text{ProbT}})$ | |
| 食鳥処理 | 食鳥処理前の鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽) | | $C_pre_P = C_post_T2$ | |
| | 湯漬 | 湯漬の効果 (log CFU/羽) | 弱湯漬(SS) $\text{Effect_Scald} = \text{RiskTriang}(-3.50, -3.00, 0.25)$ | |
| | | | 強湯漬(HS) $\text{Effect_Scald} = \text{RiskTriang}(-4.00, -3.50, -0.75)$ | |
| | 湯漬後の鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽) | | $C_post_S1 = C_pre_P + \text{Effect_Scald}$ | |
| | 湯漬後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽) | | $C_post_S2 = \log(10^{(C_post_S1) / \text{ProbS}})$ | |
| | 脱羽 | 脱羽の効果(log CFU/羽) | | $\text{Effect_Def} = \text{RiskTriang}(-1.00, 0.50, 3.00)$ |
| | | 脱羽後の鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽) | | $C_post_D1 = C_post_S2 + \text{Effect_Def}$ |
| | | 脱羽後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽) | | $C_post_D2 = \log(10^{(C_post_D1) / \text{ProbD}})$ |
| | 中抜き | 中抜きの効果(log CFU/羽) | | $\text{Effect_Evisc} = \text{RiskTriang}(-0.50, 0.00, 2.00)$ |
| | | 中抜き後の鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽) | | $C_post_E1 = C_post_D2 + \text{Effect_Evisc}$ |
| | | 中抜き後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽) | | $C_post_E2 = \log(10^{(C_post_E1) / \text{ProbE}})$ |
| | 洗浄 | 洗浄の効果(log CFU/羽) | | $\text{Effect_Wash} = \text{RiskTriang}(-1.50, -0.50, 0.00)$ |
| | | 洗浄後の鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽) | | $C_post_W1 = C_post_E2 + \text{Effect_Wash}$ |
| | | 洗浄後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽) | | $C_post_W2 = \log(10^{(C_post_W1) / \text{ProbW}})$ |
| | 冷却 | 冷却の効果 (log CFU/羽) | 塩素非添加(nCl) $\text{Effect_Cill} = \text{RiskTriang}(-2.00, -0.75, 0.00)$ | |
| | | | 塩素添加(Cl) $\text{Effect_Cill} = \text{RiskTriang}(-2.50, -1.25, -0.25)$ | |
| | | 冷却後の鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽) | | $C_post_C1 = C_post_W2 + \text{Effect_Chill}$ |
| | | 冷却後の汚染鶏の平均カンピロバクター濃度(log CFU/羽) | | $C_post_C2 = \log(10^{(C_post_C1) / \text{ProbC}})$ |

(2) 汚染率

| | | | | |
|-------------|--------------------------|--------------------------------------|--|---|
| 処理前 | 輸送後の鶏の汚染率 | | $P_{post_T} = \text{RiskBeta}(22, 15)$ | |
| | 輸送後の汚染鶏の割合 ¹³ | | $\text{ProbT} = 1 - \text{Poisson}(0, 10^{\wedge}C_{post_T1}, 0)$ | |
| | 輸送後の鶏の真の汚染率 | | $P_{Tt} = \text{ProbT} \times P_{post_T}$ | |
| 食鳥処理 | 食鳥処理前の鶏の真の汚染率 | | $P_{pre_P} = P_{Tt}$ | |
| | 湯漬 | 湯漬前の鶏の汚染率 | | $P_{pre_S} = P_{pre_P}$ |
| | | 湯漬による 交差汚染 ¹⁴ | 弱湯漬(SS) | $XS = \text{RiskDiscrete}(\{\text{RiskUniform}(1.05, 1.86), 1\}, \{0.5, 0.5\})$ |
| | | | 強湯漬(HS) | $XS = \text{RiskDiscrete}(\{\text{RiskUniform}(1.05, 1.50), 1\}, \{0.25, 0.75\})$ |
| | | 湯漬後の鶏の汚染率 | | $P_{S} = (XS \times P_{pre_S}) / (1 - P_{pre_S} + XS \times P_{pre_S})$ |
| | | 湯漬後の汚染鶏の割合 ¹³ | | $\text{ProbS} = 1 - \text{Poisson}(0, 10^{\wedge}C_{post_S1}, 0)$ |
| | | 湯漬後の鶏の真の汚染率 | | $P_{St} = P_{S} \times \text{ProbS}$ |
| | 脱羽 | 脱羽前の鶏の汚染率 | | $P_{pre_D} = P_{St}$ |
| | | 脱羽による交差汚染 ¹⁴ | | $XD = \text{RiskDiscrete}(\{\text{RiskUniform}(1.05, 3.00), 1\}, \{0.8, 0.2\})$ |
| | | 脱羽後の鶏の汚染率 | | $P_{D} = (XD \times P_{pre_D}) / (1 - P_{pre_D} + XD \times P_{pre_D})$ |
| | | 脱羽後の汚染鶏の割合 ¹³ | | $\text{ProbD} = 1 - \text{Poisson}(0, 10^{\wedge}C_{post_D1}, 0)$ |
| | | 脱羽後の鶏の真の汚染率 | | $P_{Dt} = P_{D} \times \text{ProbD}$ |
| | 中抜き | 中抜き前の鶏の汚染率 | | $P_{pre_E} = P_{Dt}$ |
| | | 中抜きによる交差汚染 ¹⁴ | | $XE = \text{RiskDiscrete}(\{\text{RiskUniform}(1.05, 3.00), 1\}, \{0.6, 0.4\})$ |
| | | 中抜き後の鶏の汚染率 | | $P_{E} = (XE \times P_{pre_E}) / (1 - P_{pre_E} + XE \times P_{pre_E})$ |
| | | 中抜き後の汚染鶏の割合 ¹³ | | $\text{ProbE} = 1 - \text{Poisson}(0, 10^{\wedge}C_{post_E1}, 0)$ |
| | | 中抜き後の鶏の真の汚染率 | | $P_{Et} = P_{E} \times \text{ProbE}$ |
| | 洗浄 | 洗浄前の鶏の汚染率 | | $P_{pre_W} = P_{Et}$ |
| | | 洗浄による交差汚染 ¹⁵ | | $XW = 1$ |
| | | 洗浄後の鶏の汚染率 | | $P_{W} = P_{pre_W}$ |
| | | 洗浄後の汚染鶏の割合 ¹³ | | $\text{ProbW} = 1 - \text{Poisson}(0, 10^{\wedge}C_{post_W1}, 0)$ |
| | | 洗浄後の鶏の真の汚染率 | | $P_{Wt} = P_{W} \times \text{ProbW}$ |
| | 冷却 | 冷却前の鶏の汚染率 | | $P_{pre_C} = P_{Wt}$ |
| | | 冷却による 交差汚染 ¹⁴ | 塩素非添加(nCl) | $XC = \text{RiskDiscrete}(\{\text{RiskUniform}(1.05, 2.33), 1\}, \{0.5, 0.5\})$ |
| | | | 塩素添加(Cl) | $XC = \text{RiskDiscrete}(\{\text{RiskUniform}(1.05, 1.86), 1\}, \{0.25, 0.75\})$ |
| | | 冷却後の鶏の汚染率 | | $P_{C} = (XC \times P_{pre_C}) / (1 - P_{pre_C} + XC \times P_{pre_C})$ |
| | | 冷却後の汚染鶏の割合 ¹³ | | $\text{ProbC} = 1 - \text{Poisson}(0, 10^{\wedge}C_{post_C1}, 0)$ |
| 冷却後の鶏の真の汚染率 | | $P_{Ct} = P_{C} \times \text{ProbC}$ | | |

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

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

¹⁵ 交差汚染は発生しない。

(3) 食鳥処理後

| | | | |
|--|---|--|---|
| 保 管 輸 送 | 冷蔵保管による汚染量の減少 (log CFU/Day) | $LR_Rate=RiskTriang(0.04, 0.12, 0.30)$ | |
| | 冷蔵保管日数(Days) | $Refrig_Days=RiskTriang(1.00, 3.00, 7.00)$ | |
| | 冷蔵による汚染量の減少(log CFU) | $Effect_refrig=LR_Rate \times Refrig_Days$ | |
| | 喫食段階での鶏肉の汚染量(log CFU) | $C_Consumer=C_post_C2-Effect_refrig$ | |
| | 喫 食 に よ る 暴 露 | 鶏肉の不十分な加熱調理の割合 | $Prop_UC=RiskTriang(0.05, 0.10, 0.15)$ |
| | | 鶏肉の保護された組織の加熱時間 (min) | $Time_CK=RiskTriang(0.50, 1.00, 1.50)$ |
| | | 鶏肉の保護された組織の温度(°C) | $Temp_CK=RiskTriang(60, 64, 65)$ |
| | | 不十分な加熱調理による汚染量の減少(log CFU) | $Effect_ck_prtct = Time_CK/10^{(-0.158 \times Temp_CK + 9.01)}$ |
| | | 鶏肉の保護された組織のカンピロバクターの割合 | $Prop_prtct=RiskTriang(0.10, 0.15, 0.20)$ |
| | | 鶏肉の保護された組織のカンピロバクター量 (log CFU/羽) | $C_Prct=C_consumer+\log(Prop_prtct)$ |
| | | 不十分な加熱調理によるカンピロバクターの減少 (log CFU/羽) | $C_ck_prtct1 = C_Prct-Effect_ck_prtct$ |
| | | 不十分な加熱調理によるカンピロバクター量 (CFU/羽) | $C_ck_prtct2=10^{C_ck_prtct1}$ |
| 喫食量(1/4の鶏)中のカンピロバクター量 (log CFU/喫食) | | $C_qtr1=C_ck_prtct1+\log(0.25)$ | |
| 〃 (CFU/喫食) | | $C_qtr2=10^{C_qtr1}$ | |
| 調 理 | 緩く付着しているカンピロバクターの割合(%) | $Prct_Loose=RiskUniform(1\%, 10\%)$ | |
| | 〃 (log %) | $Log_prct_loose=\log(Prct_Loose)$ | |
| | 緩く付着しているカンピロバクター量(log CFU/羽) | $Log_no_loose=C_post_C2+Log_prct_loose$ | |
| | 希釈される水の量(ml) | $Dilution_Vol=RiskUniform(150, 200)$ | |
| | 〃 (log ml) | $Log_dilution_vol=\log(Dilution_Vol)$ | |
| | 食鳥処理後の水の中のカンピロバクター濃度 (log CFU/ml) | $Log_conc_drip1=Log_no_loose-Log_dilution_vol$ | |
| | 喫食段階での水の中のカンピロバクター濃度 (log CFU/ml) | $Log_conc_drip2=Log_conc_drip1-Effect_refrig$ | |
| | 〃 (CFU/ml) | $Conc_drip2=10^{Log_conc_drip2}$ | |
| | 暴露される水の量 | $Vol_drip=RiskUniform(0.5, 1.5)$ | |
| | 鶏肉の水からのカンピロバクター曝露量(CFU) | $No_drip=RiskPoisson(Conc_drip2 \times Vol_drip)$ | |
| 鶏肉の水からの感染確率 | $Pinf_Drip=[1-(1-P(1))^{No_Drip}] \times P_Ct$ | | |
| 間 接 的 な 暴 露 (交 差 汚 染) | カンピロバクター摂取量(CFU/喫食) | $N_qtr=RiskPoisson(C_qtr2)$ | |
| | 用量 | $Dose=if(N_qtr=0,RiskDiscrete(Dose[xi],Prob[i]),N_qtr)$ | |
| | カンピロバクター1個からの感染確率 | $P(1)=RiskBeta(0.1453, 7.589, RiskTruncate(BETAINV(0.005, 0.1453, 7.589), BETAINV(0.995, 0.1453, 7.589)))$ | |
| | 喫食によるカンピロバクター感染率 | $P(Dose)=1-(1-P(1))^{Dose}$ | |
| | カンピロバクターが1個以上存在する確率 | $P(Dose>0)=if(N_qtr=0,1-Poisson(0,C_qtr2,0),1)$ | |
| | 暴露確率 | $P(exp)=P(D>0) \times P_Ct$ | |
| | 喫食による感染確率 | $Pinf_interim=P(exp) \times P(D)$ | |
| | カンピロバクター感染確率 | $Pinf_final=Pinf_interim \times Prop_UC$ | |
| 〃 (対数) | $\log_Pinf=\log(Pinf_final)$ | | |
| 感 染 確 率 | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

3. わが国の実態を反映したリスクアセスメントモデルの構築

3.1 わが国の実態を反映したリスクアセスメントモデルの構築方針

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

(1) 既存のリスクアセスメントモデルの活用

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

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

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

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

(3) 曝露リスクに係るリスクアセスメントモデルの構築

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

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

3.2 Health Canada のモデルからの改良点

(1) わが国の食鳥処理方法の反映

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

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

(2) 農場におけるカンピロバクター濃度および汚染率

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

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

表 3-1 鶏（盲腸内容）のカンピロバクター保菌状況

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

資料：厚生労働科学研究費補助金報告書[94]より作成

1) 農場におけるカンピロバクター濃度

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

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

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

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

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

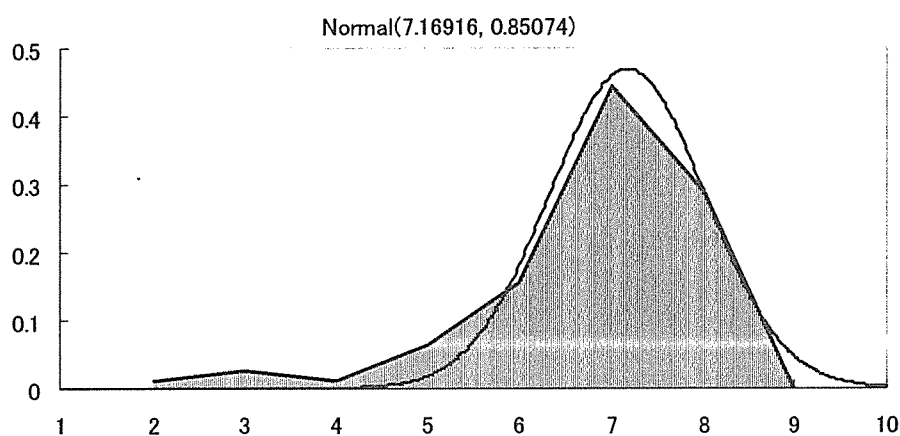


図 3-1 盲腸内容のカンピロバクター濃度のデータと適合分布

2) 農場におけるカンピロバクター汚染率

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

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

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

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

(3) 食鳥処理によるカンピロバクター濃度の対数変化

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

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

1) 強湯漬

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

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

強湯漬によるカンピロバクター濃度の対数変化：

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

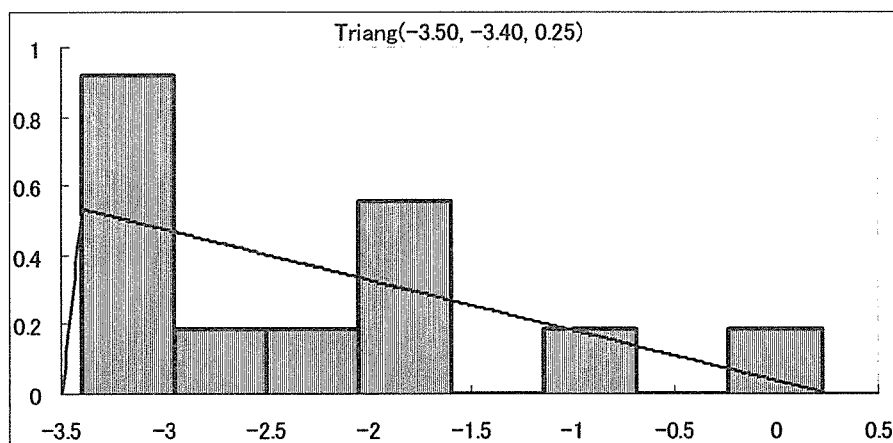


図 3-2 弱湯漬によるカンピロバクター濃度の対数変化

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

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

2) 脱羽

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

脱羽によるカンピロバクター濃度の対数変化：

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

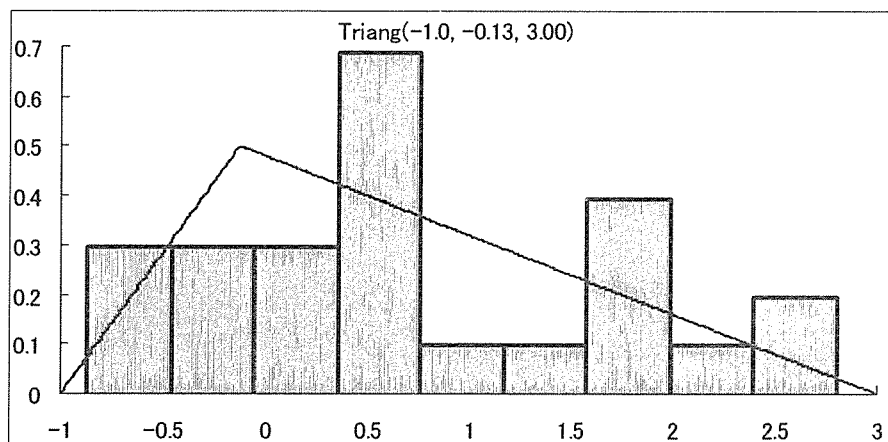


図 3-3 脱羽によるカンピロバクター濃度の対数変化

3) 中抜き

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

中抜きによるカンピロバクター濃度の対数変化：

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

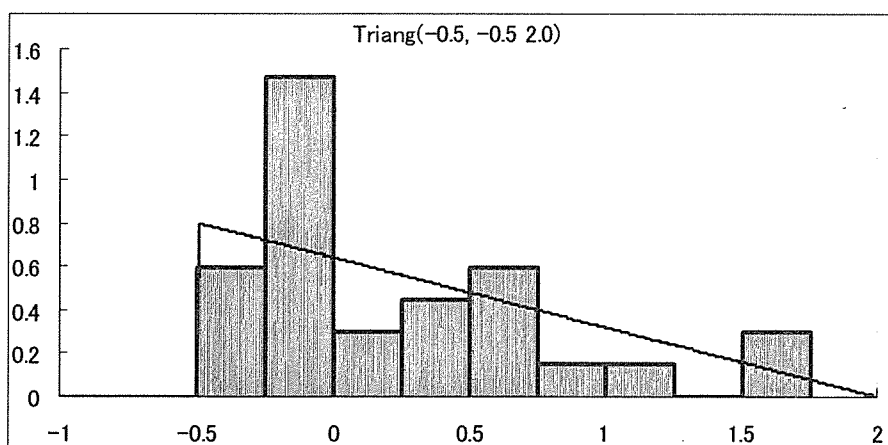


図 3-4 中抜きによるカンピロバクター濃度の対数変化

4) 洗浄

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

中抜きによるカンピロバクター濃度の対数変化：
 $\text{Effect_Wash} \sim \text{Triang}(-1.50, -0.45, 0.00) \log \text{CFU/羽}$

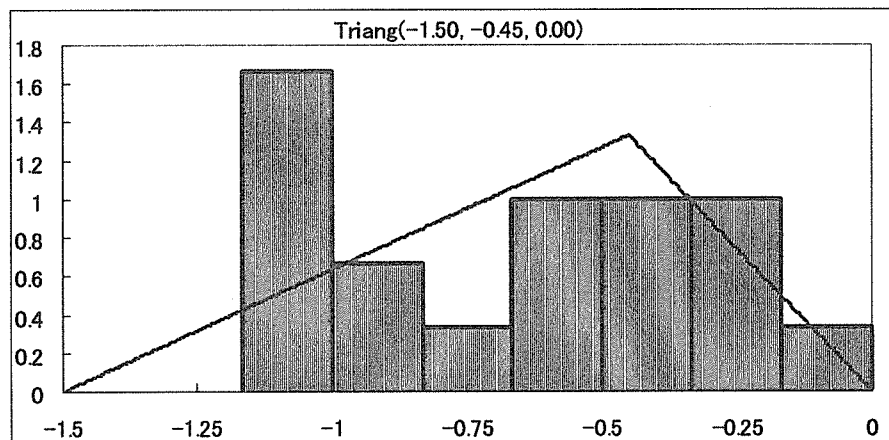


図 3-5 洗浄によるカンピロバクター濃度の対数変化

5) 冷却

① 冷却 (塩素非添加)

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

冷却 (塩素非添加) によるカンピロバクター濃度の対数変化：
 $\text{Effect_Cill}(nCl) \sim \text{Triang}(-2.0, -0.7, 0.0) \log \text{CFU/羽}$

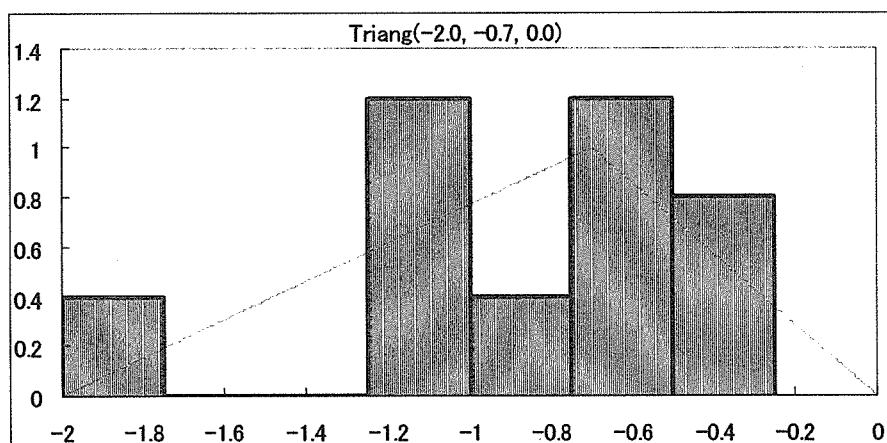


図 3-6 冷却 (塩素非添加) によるカンピロバクター濃度の対数変化

(4) 食鳥処理後の保管・輸送

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

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

(5) 鶏肉の不十分な加熱調理の割合

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

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

(6) 鶏の生食による曝露

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

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

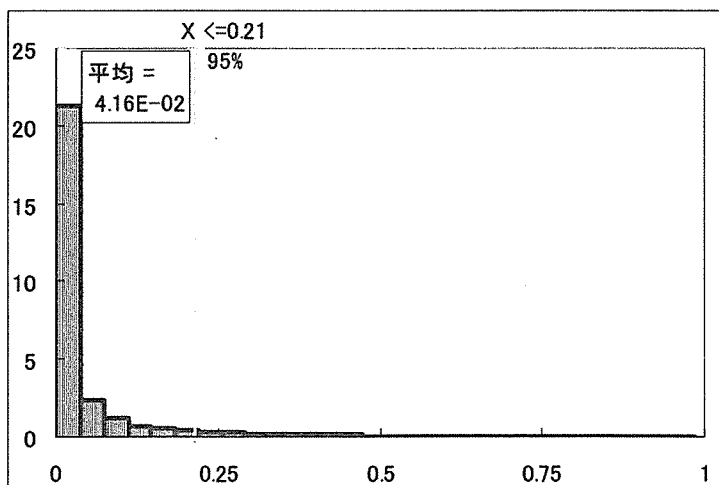


図 3-7 鶏肉を生食する割合 (%)

3.3 改良モデル概要

(1) カンピロバクター濃度

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

(2) 汚染率

| | | | | |
|--------------------------|-----------------------------|--|--|--|
| 処理前 | 輸送後の鶏の汚染率 | | $P_{post_T} = RiskBeta(114,16)$ | |
| | 輸送後の汚染鶏の割合 ¹³ | | $ProbT = 1 - Poisson(0, 10^C_{post_T}, 1, 0)$ | |
| | 輸送後の鶏の真の汚染率 | | $P_{Tt} = ProbT \times P_{post_T}$ | |
| 食鳥処理 | 食鳥処理前の鶏の真の汚染率 | | $P_{pre_P} = P_{Tt}$ | |
| | 湯漬 | 湯漬前の鶏の汚染率 | | $P_{pre_S} = P_{pre_P}$ |
| | | 湯漬による 交差汚染 ¹⁴ | 弱湯漬(SS) | $XS = RiskDiscrete(\{RiskUniform(1.05, 1.86), 1\}, \{0.5, 0.5\})$ |
| | | | 強湯漬(HS) | $XS = RiskDiscrete(\{RiskUniform(1.05, 1.50), 1\}, \{0.25, 0.75\})$ |
| | | 湯漬後の鶏の汚染率 | | $P_{S} = (XS \times P_{pre_S}) / (1 - P_{pre_S} + XS \times P_{pre_S})$ |
| | | 湯漬後の汚染鶏の割合 ¹³ | | $ProbS = 1 - Poisson(0, 10^C_{post_S}, 1, 0)$ |
| | | 湯漬後の鶏の真の汚染率 | | $P_{St} = P_{S} \times ProbS$ |
| | 脱羽 | 脱羽前の鶏の汚染率 | | $P_{pre_D} = P_{St}$ |
| | | 脱羽による交差汚染 ¹⁴ | | $XD = RiskDiscrete(\{RiskUniform(1.05, 3.00), 1\}, \{0.8, 0.2\})$ |
| | | 脱羽後の鶏の汚染率 | | $P_{D} = (XD \times P_{pre_D}) / (1 - P_{pre_D} + XD \times P_{pre_D})$ |
| | | 脱羽後の汚染鶏の割合 ¹³ | | $ProbD = 1 - Poisson(0, 10^C_{post_D}, 1, 0)$ |
| | | 脱羽後の鶏の真の汚染率 | | $P_{Dt} = P_{D} \times ProbD$ |
| | 中抜き | 中抜き前の鶏の汚染率 | | $P_{pre_E} = P_{Dt}$ |
| | | 中抜きによる交差汚染 ¹⁴ | | $XE = RiskDiscrete(\{RiskUniform(1.05, 3.00), 1\}, \{0.6, 0.4\})$ |
| | | 中抜き後の鶏の汚染率 | | $P_{E} = (XE \times P_{pre_E}) / (1 - P_{pre_E} + XE \times P_{pre_E})$ |
| | | 中抜き後の汚染鶏の割合 ¹³ | | $ProbE = 1 - Poisson(0, 10^C_{post_E}, 1, 0)$ |
| | | 中抜き後の鶏の真の汚染率 | | $P_{Et} = P_{E} \times ProbE$ |
| | 洗浄 | 洗浄前の鶏の汚染率 | | $P_{pre_W} = P_{Et}$ |
| | | 洗浄による交差汚染 ¹⁵ | | $XW = 1$ |
| | | 洗浄後の鶏の汚染率 | | $P_{W} = P_{pre_W}$ |
| 洗浄後の汚染鶏の割合 ¹³ | | $ProbW = 1 - Poisson(0, 10^C_{post_W}, 1, 0)$ | | |
| 洗浄後の鶏の真の汚染率 | | $P_{Wt} = P_{W} \times ProbW$ | | |
| 冷却 | 冷却前の鶏の汚染率 | | $P_{pre_C} = P_{Wt}$ | |
| | 冷却による 交差汚染 ¹⁴ | 塩素非添加(nCl) | $XC = RiskDiscrete(\{RiskUniform(1.05, 2.33), 1\}, \{0.5, 0.5\})$ | |
| | | 塩素添加(Cl) | $XC = RiskDiscrete(\{RiskUniform(1.05, 1.86), 1\}, \{0.25, 0.75\})$ | |
| | 冷却後の鶏の汚染率 | | $P_{C} = (XC \times P_{pre_C}) / (1 - P_{pre_C} + XC \times P_{pre_C})$ | |
| | 冷却後の汚染鶏の割合 ¹³ | | $ProbC = 1 - Poisson(0, 10^C_{post_C}, 1, 0)$ | |
| 冷却後の鶏の真の汚染率 | | $P_{Ct} = P_{C} \times ProbC$ | | |