

【付属 4】

感度分析

食品安全リスク評価など、さまざまな評価においては数多くの情報が与えられる。もちろん、定量的な評価を行うためには、定量的な情報が与えられなければならない。例えば、FDA が実施した生食カキの腸炎ビブリオによる健康影響に関する定量リスク評価¹においては、食中毒の発症確率を推定するために、カキが漁獲された海域の海水温や、カキが水揚げされて冷蔵されるまでの時間（冷蔵開始までの時間）や冷蔵が開始されても腸炎ビブリオの増殖がストップする温度に冷却されるまでの時間（冷却時間）、それぞれの時間に腸炎ビブリオが増殖する増殖率、冷蔵によって腸炎ビブリオが死滅し減少する時間（冷蔵時間）や減少率、人々が喫食するカキの個数など、多数の情報が定量的に与えられる。

決定論的な評価においては、それぞれの定量的な情報として、最も妥当と考えられる一つの値（ベースケース）を与えて、発症確率の値を求める。しかし、一見してわかるとおり、海水温や、カキが冷蔵されるまでの時間、冷蔵時間、カキの喫食量などの値は、時と場合によって異なってくる（不確実性）。また、病原性腸炎ビブリオの増殖率、減少率などの値は、同じ条件の下でも変動する（変動性）。このような不確実性や変動性によって、実際には、ベースケースとして与えた値と異なる場合が多い。そして、発症確率はベースケースから推定された値から大きく乖離する可能性もある。そうすると、リスクが過大評価あるいは過小評価された結果、リスクの大きさに見合わない過大あるいは過小な施策を講じてしまうおそれがある。

「感度分析」は、情報（海水温など）の不確実性や変動性が、アウトプット（発症確率）の値にどのような影響をもたらすかを把握する手法であり、アウトプットをより適切に認識し、適切な評価を導くことを目的として実施するものである。

感度分析には、狭義の感度分析と広義の感度分析がある。前者は、一つの値だけをベースケースから変化させてアウトプットの影響を把握するものであり、後者は、すべての値を同時にベースケースから変化させてアウトプットの影響を把握するものである。

1. 狭義の感度分析

狭義の感度分析には、変化させる一つの値を変化させ、他の値をすべてベースケースの値に固定させたときに、アウトプットの値の変化を把握する手法である。変化させる値を一定の範囲で変化させるものと、その値がとり得る範囲で変化させるものの2種類がある。

（1）一つの値を一定の範囲で変化させる感度分析

例えば、FDA の例で海水温に着目すれば、そのベースケースは 17.3℃として与えられてい

¹ FDA: “Quantitative Risk Assessment on the Public Health Impact of Pathogenic *Vibrio parahaemolyticus* In Raw Oysters”, 2005.7, <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/vpra-toc.html>

るが、ここでの感度分析では、その値を±10%で変化させ、15.6℃および 19.0℃として与えた場合の発症確率の値を求めることになる。

いま、海水温、冷蔵開始までの時間、冷却時間、冷蔵時間、カキの摂食個数をそれぞれベースケースから±50%まで 10%刻みで変化させたときの発症確率を表 1に示す。また、変化率を横軸にとり、発症確率を縦軸にとって直線で結んだスパイダー図²を図 1に示す。スパイダー図からは、カキの漁獲海域の海水温と冷蔵時間の変化に対して発症確率が鋭敏に変化することが分かる。

表 1 一つの値を一定の範囲で変化させた場合の感度分析の例

(単位: $\times 10^{-8}$)

項目 \ 変化率	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
海水温	0.39	0.56	0.82	1.19	1.73	2.51	3.65	5.30	7.71	11.21	16.29
冷蔵開始までの時間	1.81	1.93	2.06	2.20	2.35	2.51	2.68	2.86	3.06	3.26	3.49
冷却時間	2.17	2.24	2.30	2.37	2.44	2.51	2.58	2.66	2.74	2.82	2.90
冷蔵時間	4.45	3.97	3.54	3.16	2.81	2.51	2.24	2.00	1.78	1.59	1.42
カキの摂食個数	1.25	1.51	1.76	2.01	2.26	2.51	2.76	3.01	3.26	3.51	3.76

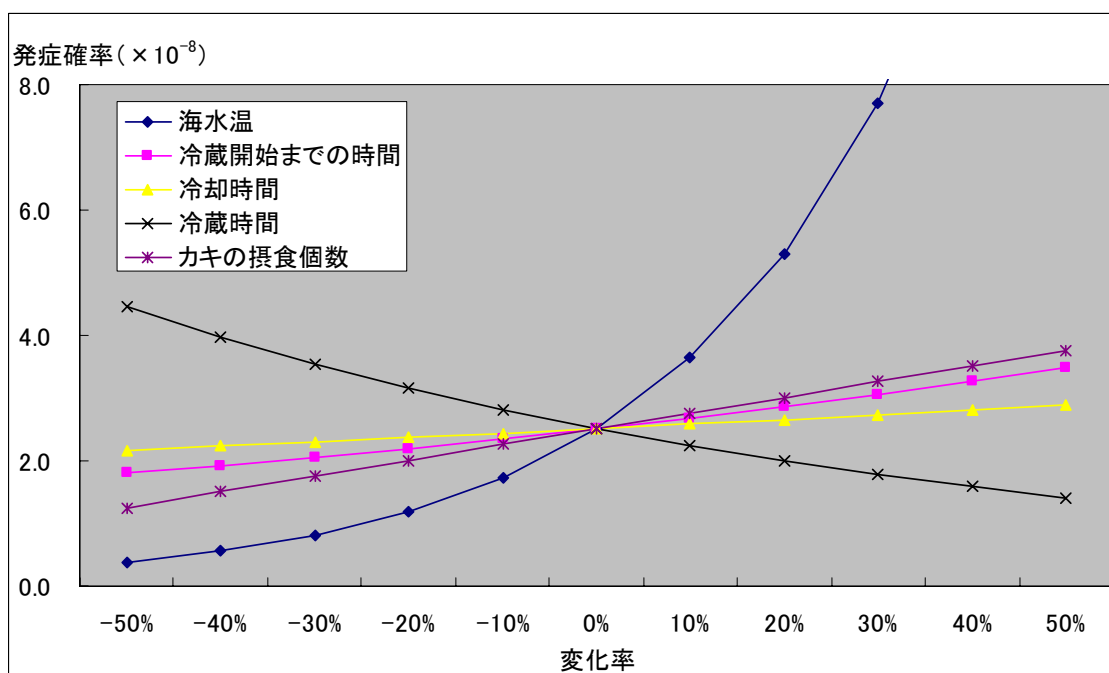


図 1 一つの値を一定の範囲で変動させる感度分析の例(スパイダー図)

² 変化率が 0%のときの発症確率はベースケースの 2.51×10^{-8} の一点に一致し、それぞれの項目の値が変化するにつれて各々の発症確率はベースケースの値から乖離していく。このグラフの形状がくもの巣のように見えるためスパイダー図と呼ばれる。

(2) 一つの値をそのとり得る範囲で変化させる感度分析

例えば、FDA の例で海水温に着目すれば、そのベースケースは 17.3℃として与えられている。実際、その値が 15.6℃から 19.0℃の値をとることが分かっている場合、ここでの感度分析では、この範囲の値を与えた場合の発症確率の範囲を求めることになる。

いま、海水温、冷蔵開始までの時間、冷却時間、冷蔵時間、カキの摂食個数とその最小値および最大値をとときの発症確率の値を求めると表 2のとおりとなる³。発症確率の範囲を図2に示す。ここからは、冷蔵開始までの時間が変化しても発症確率は 0.81×10^{-8} しか変化しないが、海水温が変化すれば 20.6×10^{-8} も変化し、しかもベースケースよりも 20.1×10^{-8} も大きく上ぶれすることが分かる。

表 2 一つの値をそのとり得る範囲で変化させる感度分析

(単位: $\times 10^{-8}$)

項目 \ 発症確率	最小値	ベースケース	最大値
海水温	2.02(11.7)	2.51(17.3)	22.6(22.9)
冷蔵開始までの時間	1.95(7.00)	2.51(11.3)	2.76(13.0)
冷却時間	1.99(1.00)	2.51(5.00)	3.35(10.0)
冷蔵時間	0.34(21.0)	2.51(7.67)	6.79(1.00)
カキの摂食個数	0.19(1.00)	2.51(13.0)	11.6(60.0)

*括弧内の数値は、それぞれの発症確率を与える各項目の値(最小値または最大値)

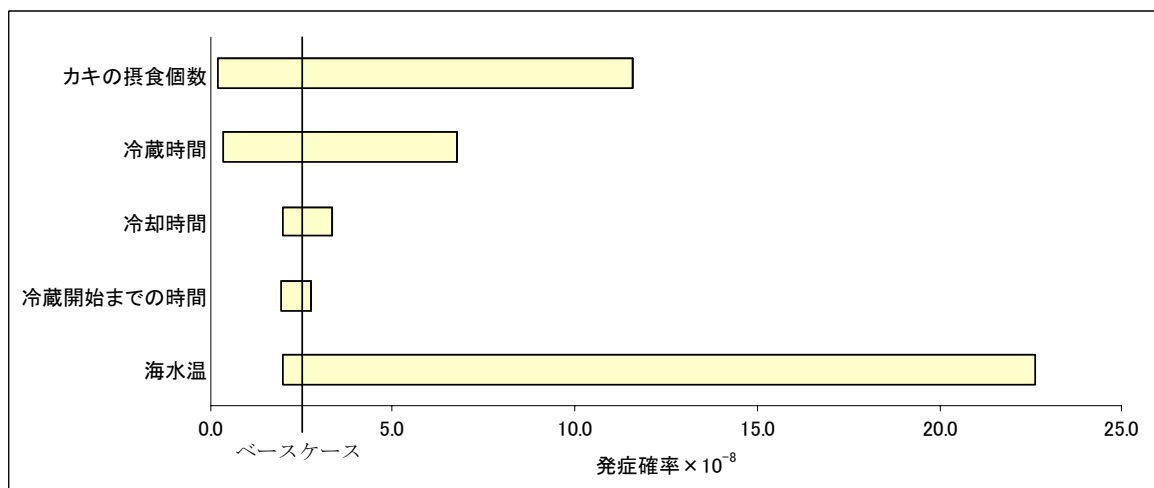


図 2 一つの値をそのとり得る範囲で変化させる感度分析

2. 広義の感度分析

広義の感度分析では、すべての値を同時にベースケースから変化させてアウトプットの影

³ この例では、各項目と発症確率との関係が単調増加あるいは単調減少であるため、各項目の最小値と最大値がそれぞれ発症確率の最小値あるいは最大値に対応する。

響を把握する手法である。広義の感度分析には、変化させる値をどのように変化させるかによって、ベストケース・ワーストケース分析、シナリオ分析、不確実性分析（確率論的リスク分析、モンテカルロ感度分析とも呼ばれる）の3つがある。なお、これらを感度分析として位置づけるか否かについての定見はない。

（1）ベストケース・ワーストケース分析

すべての値をそのとり得る範囲で変化させ、アウトプットの最大値や最小値（ベストケースあるいはワーストケース）や範囲（レンジ）を把握する手法である。個々の値の変化がアウトプットに及ぼす影響は分析されず、アウトプットの最大値、最小値を与える値の組み合わせのみが分析される⁴。

例えば、FDA の例で、それぞれの値をとり得る値の範囲で変化させたときの、発症確率の最小値（ベストケース）と最大値（ワーストケース）を求めると、表 3のとおりとなる。

発症確率は、ベストケースではベースケースの 1/500 以下、ワーストケースではベースケースの 60 倍以上と大きく変化している。この結果は、ベースケースだけに着目しては、適切なリスク評価を行うことができないおそれがあることを示唆している。

表 3 ベストケース・ワーストケース分析

	ベストケース	ベースケース	ワーストケース
海水温	11.7	17.3	22.9
冷蔵開始までの時間	7.00	11.3	13.0
冷却時間	1.00	5.00	10.0
冷蔵時間	21.0	7.67	1.00
カキの摂食個数	1.00	13.0	60.0
発症確率	0.00484×10^{-8}	2.51×10^{-8}	154×10^{-8}

（2）シナリオ分析

それぞれの値がとり得る値の範囲で最小値、最確値（最頻値）、最大値をそれぞれとる組み合わせ（シナリオ）を与えて、それぞれのシナリオでのアウトプットの値を求め、すべてのシナリオが同じ確率で発生すると仮定してアウトプットの分布を把握する手法である⁵。

例えば、FDA の例で、

表 4のように海水温、冷蔵開始までの時間、冷却時間、冷蔵時間、カキの摂食個数の5つの項目についてそれぞれ最小値、最確値、最大値の3つの値を与えると、 $3^5=243$ 通りのシナリオを与えることができる。これらが同じ確率で発生するならば、それぞれのシナリオは1/243の確率で発生することになる。そこで、横軸に発症確率の累積確率をゼロから1まで1/243刻

⁴ ベストケース・ワーストケース分析は、一つの値をとり得る値の範囲で変化させる感度分析（1.(2)）を拡張した手法として捉えることもできる。

⁵ それぞれの値がどのような確率分布に従うかが分からない場合に、簡易的にアウトプットの分布を求める手法である。

みでとって、縦軸に得られたアウトプットを小さい順に並べることによって、図 3に示すような累積確率分布を得ることができる。

(1)のベストケース・ワーストケース分析においては、発症確率は 0.00484×10^{-8} から 154×10^{-8} までの広い範囲の値をとることが分かったが、シナリオ分析においては、累積確率は最小値から急激に立ち上がり、 1.37×10^{-8} で50%値となり、 28.5×10^{-8} で90%値となっていることから、多くのシナリオが 1.00×10^{-8} の前後に含まれていることが分かる。事実、シナリオの63%が 0.10×10^{-8} から 10.0×10^{-8} の狭い範囲に含まれている。

表 4 シナリオ分析におけるケース設定

項目	最小値	最確値	最大値
海水温	11.7	17.3	22.9
冷蔵開始までの時間	7	12	13
冷却時間	1	5	10
冷蔵時間	1	6	21
カキの摂食個数	1	12	60

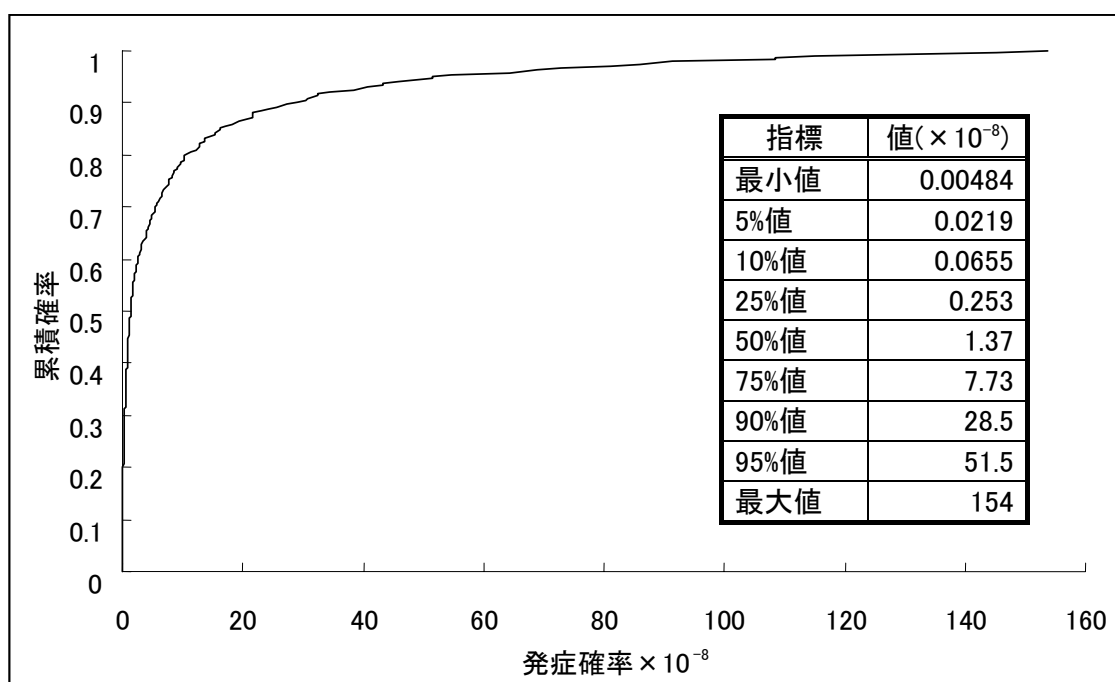


図 3 シナリオ分析の例(累積確率分布)

(3)不確実性分析

不確実性分析においては、それぞれの値が従う確率分布や、それぞれの値の間の相関関係などを与えて、アウトプットの確率分布を得る手法である。アウトプットの確率分布を解析的に求めることは一般に困難であるため、モンテカルロシミュレーション法を用いることが多い。この方法で得られたアウトプットと、それぞれの値の相関関係を求めることで、それぞれの値がアウトプットに与える影響の寄与度を把握することができる。

例えば、FDA の例⁶で、海水温、冷蔵開始までの時間、冷却時間、冷蔵時間、カキの摂食個数に確率分布を与えて 100 万回のシミュレーションを実行すると、発症確率の累積確率分布が図 4 のように得られる。ベストケースやワーストケースとなる値の組み合わせが発生する確率は極めて小さいため、このシミュレーションではいずれも出現しておらず、発症確率の範囲は 0.0166×10^{-8} から 130×10^{-8} 、平均は 3.73×10^{-8} となっている⁷。

また、発症確率と5つの値との相関係数を求め、これを上から大きい順に横棒グラフで並べたトルネード図を図 5 に示す。カキ摂食個数、冷蔵時間、海水温の3つの値が発症確率に大きな影響をもたらしていることが分かる。

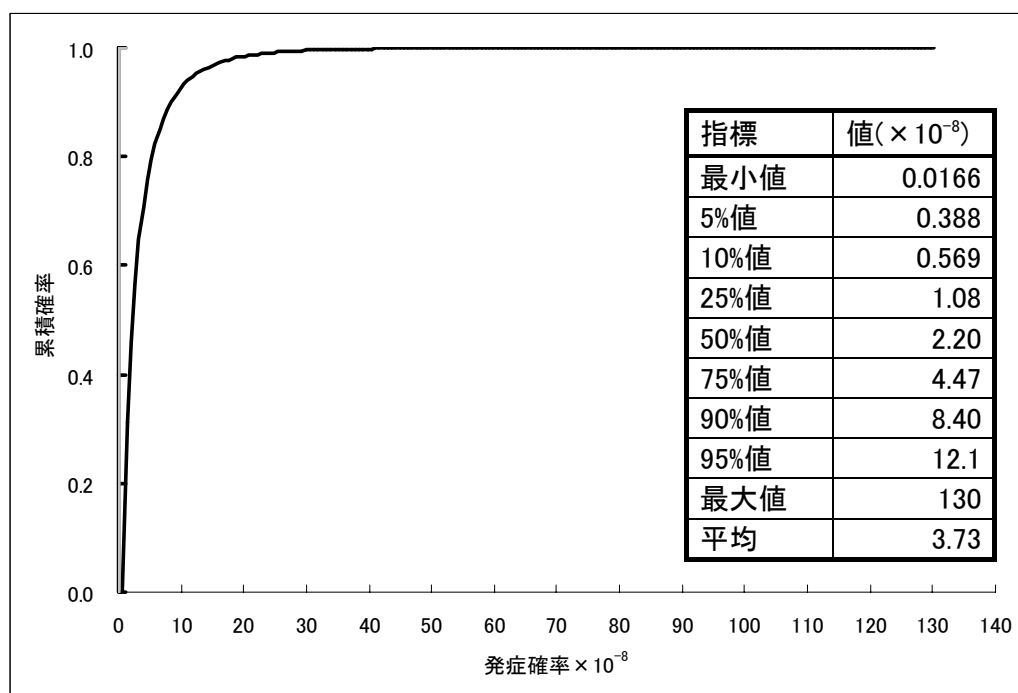


図 4 不確実性分析の例(累積確率分布)

⁶ FDA のモデルをこれら5つの値のみが変化するように単純化し、正規分布に従うものとされていた海水温が表4の範囲で変化するように改変している。

⁷ ベストケースは 0.00484×10^{-8} 、ワーストケースは 154×10^{-8} 、ベースケースは 2.51×10^{-8} である。

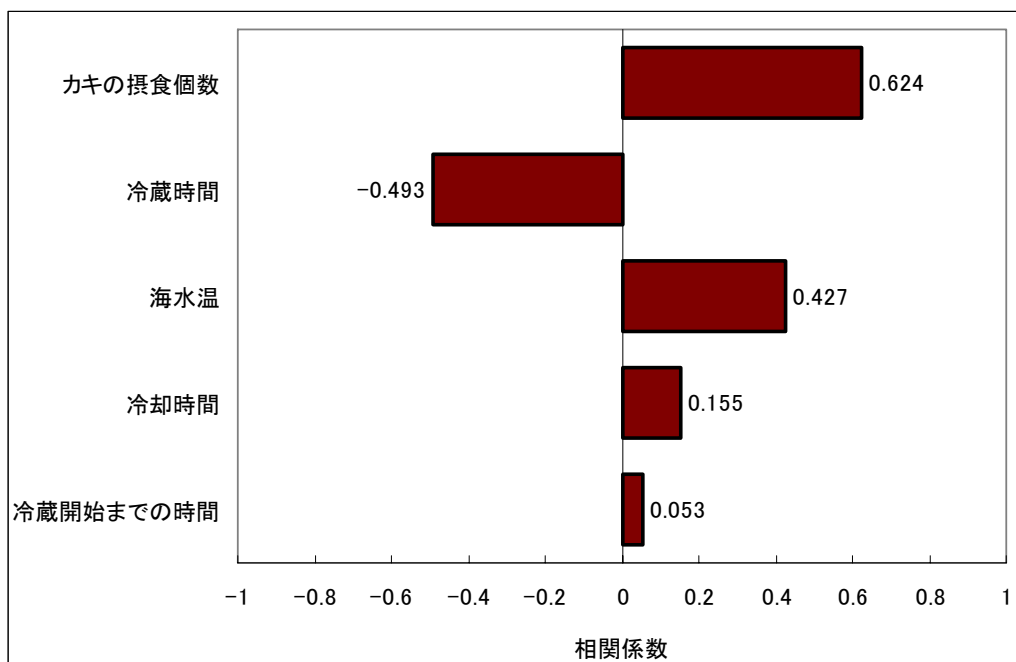


図 5 不確実性分析の例(トルネード図)