

なかったかもしれないからである。

当選したら 1 億円もらえるが当選しないかもしれない宝くじを 1 億円で買うのは不合理だろう。それと同じように考えるならば，発生したら 1 億円の損害が出るものの，そもそも発生しないかもしれない事故の対策に 1 億円使うのもやはり不合理である。

このような確率事象を扱う場合，事故が起きた場合に発生する損害だけでなく，事故が起きる頻度を考慮するのがひとつの方法である。これがリスクの考え方である。一般的にリスク R は確率 P とハザード H (リスク事象が現に起きた場合の損害) との関数であると考えられる。リスクの考え方をを用いれば，安全対策の効果は次のように評価できるだろう。ここではリスクを損害の数学的期待値で考えた。

対策実施前のリスク： $R_{前} = P_{前} \times H_{前}$

対策実施後のリスク： $R_{後} = P_{後} \times H_{後}$

安全対策の効果＝リスクの減少： $\Delta R = R_{前} - R_{後}$

では，こういったリスクあるいは事故の発生確率という観点について，安全対策の費用便益分析に関する既存研究はどう考えているのだろうか？

宮川(2012)は「安全保護方策を導入するコストと，導入しないことによる最大の災害コストから，対投資効果の有効性を実証することが必要である」としている³⁾。リスクではなく最大の災害コストを考えるとこの立場である。実際，宮川(2012)による安全投資効果

の指標を表す式の内容を追うと事故の発生確率は考えられていない。

Gavius et al. (2009)の副題は「安全対策の評価および費用便益分析の方法とツールの開発」となっている。しかしながら実は、この論文では費用便益分析は行われていない。この論文の主眼は直接費用と間接費用の大きさの違いについて検討する点にある。

Reniers and Brijs (2014)には「安全対策による事故回避便益を計算する際には事故確率 (the likelihood of major accident) を考慮に入れる」と書かれている。同様の意味で「損害の発生確率との積をとる」との記述がある。ただし、Reniers and Brijs (2014)により開発された安全対策の費用便益分析を実行するエクセルベースソフトウェアに関する説明を読む限り、そのソフトでの便益計算において事故発生確率がどのように扱われているのかは判然としない。

こうして見てくると、事故回避便益をリスク的に考えることは必ずしも一般的ではないようである。もちろん、安全対策によって事故リスクが十分低下するならば、近似として安全対策費用と「もし事故が起きたら発生する損害」を比較してもいいだろう。例えば事故が起きたら 10 億円の損害があり、何の対策もしなければ必ず事故が起きるとしよう。一方 10 億円かかる対策を実行すれば事故発生確率をゼロにできるとする。この場合、当該対策は実行してもしなくてもよい。どちらにしても出て行く金額が 10 億円であることに変わりはない。対策費が 10 億円をわずかでも下回る

ならば対策によってプラスの効果を得られる。したがって、その場合は対策を実行するべきである。

しかし、対策をとっても事故発生確率が80%にまでしか下がらないとしよう。先の例では事故発生確率がゼロになるならば10億円払ってもよいと考えていた。ところが今の例ではたとえ対策を実施しても事故発生確率が80%に高止まってしまっている。であれば、当然その対策に10億円も出すことはできないと判断されるだろう。期待値によって計算するならば期待損害額は8億円である。つまり対策をとっても平均的に8億円の事故損害があるわけである。ならば、対策費としては2億円までなら出せる（までしか出せない）、ということになる。リスクが残っているということはその対策は安全対策としては「弱い」ことを意味しており、その安全対策に「事故がもし起きたら発生する損害」と同じだけの価値があるとは思えないだろう。宮川（2012）が言うように過剰の投資は企業として成り立たなくなるのである³⁾。

ただし、本稿は期待値計算することが「正しい」からそうすべきだと主張するものではない。よく用いられるのは期待値であるというだけである。既に述べたように一般にリスクは $R=f(P, H)$ と表現されるもので、ハザードだけでなく発生確率も考えようというのがそのメッセージである。「期待値」での評価は考え方のひとつのバリエーションに過ぎない。特に民間の意思決定者であればどのような方法で確率を考慮に入れるのかは自由なのであって、意思決定に役立つ限りにおいて適当だと考えられる方法で考慮に入れればよい。

もうひとつの問題として、そもそも事故発生確率をどのように予測するのかという課題が依然として残るが、これは本稿の範囲外とする。機会があれば別稿で改めて整理してみたい。

6.2 費用/便益の比はどのくらい大きければ「大きい」と判断されるのか？

費用便益分析では、費用 > 便益であればその対策を実施すべきでないと判断するのが原則である。しかしながら、事故発生確率や発生したときの損害が必ずしも正確に予測できるとは限らないという不確実性のもとでは、費用 > 便益であるから実施しないと即座に判断するのは実際上困難であろう。費用と便益の差があまり大きくない場合は特にそうであろう。

上記のような考えを反映したものとして *disproportion factor* という考え方がある（現状では定まった日本語訳がないようなので以後も英語で表記する）。安全対策の費用がその便益を大幅に (*grossly*) 超えているとき「*gross disproportion* がある」という¹⁵⁾。 *Gross disproportion* は ALARP (As Low As Reasonably Practicable) の考え方と関連しており、英国 HSE (Health and Safety Executive) は、ある対策はその費用が便益を大幅に上回らない場合に *reasonably practicable* であるとみなす、としている¹⁶⁾。つまり

費用/便益 < *disproportion factor*

であるとき，その安全対策は *reasonably practicable* とされる．これを書き換えると「費用 < *disproportion factor* × 便益」となる．つまり便益が *disproportion factor* を係数として事実上過大評価されるということである．

HSE は *disproportion factor* を算出するアルゴリズムを作っていないが¹⁷⁾，Goose (2006)のように個人的見解とした上で *disproportion factor* の算出方法を提案している文献は存在する．また *disproportion factor* の適用可能性についても議論があり，Jones-Lee and Aven (2011)は，*disproportion factor* の適用はどのような場合に妥当なのかを考察している¹⁸⁾．

今回調査した文献の中では，Reiners & Brijs (2014)が *disproportion factor* の考え方を導入している．事故発生が極めて低頻度であることに由来する不確実性を考慮に入れるために，意図的に便益を大きめに見積もるのが *disproportion factor* の目的であると説明されている．ただ，Reiners & Brijs (2014)で開発された費用便益分析ソフトウェアでは *disproportion factor* の値をユーザ自身が決めて入力する仕様になっている．どのような根拠で *disproportion factor* を決めればよいのか，依然として問題は残っている．

7 現状の到達点と課題

最近の文献から事故防止のための安全対策の費用便益分析に関するものを抽出し内容を整理した．本稿の最後に現状の到達点と残された課題についてまとめる．

現状の到達点としては、費用項目、便益項目が、種類としては出そろってきているだろうということが言える。これは文献から出てくる項目と、聞き取り調査で出てきた項目との重なり具合から判断した。もちろん、企業現場がもっている意見に関する調査はまだ調査件数の観点において十分ではないので、今後も聞き取りを進めたい。

本項の冒頭で費用便益分析は「合理的な」安全投資額を決定するのに役立つツールであると説明した。しかし現状では、十分役立つツールとなるために解決すべき課題が残っているようである。(1) ひとつは事故発生確率の評価である。そもそも事故発生確率をどのように予測するかという問題に加え、仮に予測できたとしてそれを便益計算にどのように反映させるべきかという問題が残る(最終的には意思決定者の裁量に任されているのだが)。(2) 推定に困難を伴う便益項目として従業員のモチベーションやモラルの変化があげられる場合があり、これらの推定方法は確立されていない。(3) *disproportion factor* についても、仮に適用するとして値をどのように決めればよいのか未解決である。(4) 分析のためのツールが整備されていない。Reiners & Brijs (2014)で紹介されているように労働災害については海外事例として多くのソフトウェアが開発されている。一方、産業事故を対象としたツールはまだ開発の途上にある。インターフェースの改善や搭載データベースのいっそうの充実が望まれる。上記のような課題が解決されれば、安全対策立案における費用便益分析の普及が促進されるものと考えられる。

謝辞

本稿の執筆にあたり，安全工学会伊藤東会長より多大なご助言をいただきました．ここに記して感謝の意を表します．また，本研究は厚生労働科学研究費補助金（H25・労働・一般・010）の助成を受けた成果の一部です．

参考文献

- 1) Reniers, G.L.L. and Audenaert, A., Chemical plant innovative safety investments decision-support methodology, *Journal of Safety Research*, 40-6, pp.411-419 (2009)
- 2) Reniers, G.L.L. and Brijs, T., Major accident management in the process industry: An expert tool called CESMA for intelligent allocation of prevention investments, *Process Safety and Environmental Protection* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2014.02.003>
(2014年4月18日アクセス)
- 3) 宮川高志，産業安全の推進への課題と方策，*IEICE Fundamentals Review*, 6-2, pp.114-122 (2012)
- 4) Jallon, R., Imbeau, D., Marcellis-Warin, N., Development of an indirect-cost calculation model suitable for workplace use, *Journal of Safety Research*, 42-3, pp.149-164 (2011)
- 5) Gavious, A., Mizrahi, S., Shani, Y., Minchuk, Y., The costs of industrial accidents for the organization: Developing methods and tools for evaluation and cost-benefit analysis of investment in safety, *Journal of Loss Prevention*

- in the Process Industries, 22-4, pp.434-438 (2009)
- 6) Lyon, B.K., Ergonomic benefit/cost analysis: Communicating the value of enhancements, Professional Safety, 42-3, pp.33-36 (1997)
 - 7) Oxenburgh, M., Cost-benefit analysis of ergonomics programs, American Industrial Hygiene Association Journal, 58-2, pp.150-156 (1997)
 - 8) Oxenburgh, M. S., Marlow, P., The Productivity Assessment Tool: Computerbased cost benefit analysis model for the economic assessment of occupational health and safety interventions in the workplace, Journal of Safety research - ECON proceedings, 36-3, pp.209-214 (2005)
 - 9) Bergstrom, M., The potential-method-an economic evaluation tool, Journal of Safety Research - ECON proceedings, 36-3, pp.237-240 (2005)
 - 10) Linhard, J. B., Understanding the return on health, safety and environmental investments, Journal of Safety research - ECON proceedings, 36-3, pp.257-260 (2005)
 - 11) Amador-Rodezno, R., An overview to CERSSO's self evaluation of the costbenefit on the investment in occupational safety and health in the textile factories: "A step by step methodology," Journal of Safety research - ECON proceedings, 36-3, pp.215-229 (2005)
 - 12) 牧野良次, 化学物質のリスク評価と管理 (大気汚

- 染物質のヒト健康影響を中心として) -第 4 講 経済学的観点から見た化学物質のリスク管理-, 大気環境学会誌 47-5, pp.A51-58 (2012)
- 13) Boardman, A.E., Greenberg, D.H., Vining, A.R., Weimer, D.L., Cost-benefit analysis: Concepts and practice 2nd edition, Prentice-Hall(2001)(ボードマン, グリーンバーグ, ヴァイニング, ワイマー, 岸本光永監訳, 出口亨, 小滝日出彦, 阿部俊彦訳, 費用・便益分析 公共プロジェクトの評価手法の理論と実践, ピアソン桐原 (2004))
- 14) 中央労働災害防止協会, 安全対策の費用対効果-企業の安全対策費の現状とその効果の分析-(2000)
- 15) Goose, M. H., Gross disproportion, step by step - A possible approach to evaluating additional measures at COMAH sites, Health and Safety Executive, United Kingdom (2006)
- 16) HSE, Cost Benefit Analysis (CBA) checklist, <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarpcheck.htm> (アクセス日 2014 年 3 月 10 日)
- 17) HSE, HSE principles for cost benefit analysis (CBA) in support of ALARP decisions, <http://www.hse.gov.uk/Risk/theory/alarpcba.htm> (アクセス日 2014 年 3 月 10 日)
- 18) Jones-Lee, M., Aven, T., ALARP - What does it really mean?, Reliability Engineering and System Safety, 96-8, pp.877-882 (2011)

