

中国における炭鉱と CMM 事業のガス災害リスクに関する研究

環境システムコース エネルギー環境分野 56755 名倉将司

1. 緒言

石炭層中には、その生成過程で生じたメタンガスが含有されており、石炭採掘時に炭層及びその周辺からこのメタンガスは湧出するが、まれに突出、燃焼、爆発、窒息などの炭鉱内における重大な災害を引き起こす。安全対策として、以前から坑内通気によりメタンガス大気に放出してきたが、この炭層メタン（CMM：Coal Mine Methane）はクリーンなエネルギー源として利用可能であり、またメタンが地球温暖化係数 21 の温室効果ガスであることから、回収・利用することが期待されている。

このような事業は主要な産炭国が対象となるため、現在石炭生産量、CMM 排出量ともに世界第 1 位である中国では、CMM 回収利用事業の大きなポテンシャルを持っており、今後の経済成長によりエネルギー需要増加が見込まれるため、資源の有効利用の観点から回収利用を奨励している。しかし、中国における CMM の温室効果ガスやエネルギー源という認識不足、炭鉱開発技術の不足、中国の石炭層のガス浸透率が低いことなどにより、回収率・利用率が他国と比較して低い。一方で、炭鉱整備が不十分なことから災害も多発しており、死亡率も他国と比較して著しく高い。死亡人数は毎年約 6000 人にのぼり、そのうち CMM に起因する災害は約 3~4 割と大きな割合を占める。そして、このような災害は炭鉱における石炭生産性に影響を与え、損益をもたらす要因となる。よって、炭鉱安全環境の改善への取り組みも政府により積極的に行われている。

このような背景をもとに本研究では、中国を対象地として、炭鉱におけるメタンガス災害をリスクとして捉え、過去の統計から炭鉱に潜在するガス災害リスクを定量化する。そして、CMM 回収事業はリスク軽減手段の一つとして捉え、CMM 回収事業効果との比較を行なう。

2. 研究方針

本研究では、中国における災害統計から災害発生頻度、被害規模を算出する。中国の炭鉱統計については小規模炭鉱の乱立等により管理が不十分であるため、憑性がしばしば疑われる。したがって、情報として信頼性の高い国有重点炭鉱を対象とし、統計分析を行なう。また、近年の災害案件の情報を基に災害規模とその直接的損害との関係を求め、災害損害額の推定を可能にする。

これにより推定された炭鉱に潜在するガス災害リスクが、実際に導入評価が行われた CMM 事業に対して与える影響を調査する。具体的には、災害が発生したことにより発生する損害額の期待値を 1 年あたりに換算し、これを CMM 事業収入から回収、貯蓄した場合の CMM 事業の収益性への影響を求める。

3. ガス災害統計分析

3.1 炭鉱災害死亡率の推移

中国の国有重点炭鉱、全炭鉱における災害死亡率（人/Mt）を、日本と米国のそれと比較する。2000 年付近の中国国有炭鉱死亡率は、中国国内では高水準にもかかわらず、日本の約 2 倍、米国の約 30 倍と高い。日本、米国は値のずれはあるが、指数関数的な減少傾向

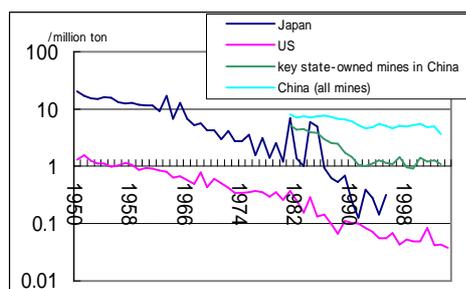


図 3.1 炭鉱災害死亡率推移

が見られ、炭鉱安全性が改善されたことが確認できる。中国においても減少傾向は見られるが、1990年代以降はその減少がほぼ進んでおらず、日本、米国においても以前ほどの減少は見られない。日本、米国の比較から、同様の減少傾向を示したことは技術発展等によるものと考えられ、水準に差があるのはその炭鉱特有の環境要因が安全性水準に影響していると考えられる。したがって、このような死亡率低下を中国において実現されることは予想されるが、現段階で中国の炭鉱開発技術と、中国の炭鉱環境水準がどれほどのものかということが不明であるため、予測は困難である。

3.2 ガス災害の特徴

中国における近年の原因別死亡人数割合と死亡人数は図と図のようになっている。中国の炭鉱における災害死亡人数を災害別に見ると、ガス災害と落盤が同程度でそれぞれ4割程度を占め、この二つで大半を占める。しかし、災害別の件あたり平均死亡人数を見ると、ガス災害が落盤の値を常に数倍の値を示す。また、全炭鉱と国有重点炭鉱を対象にそれぞれの災害における件あたり死亡人数を比較すると、落盤はすべての場合で同程度の死亡者を出すのが、ガス災害の場合、常に国有重点炭鉱の値が全炭鉱平均を上回ることから、大規模なガス災害が発生する傾向にあることが示唆された。

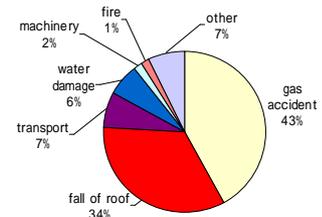


図 3.2 災害別災害死亡人数割合

3.3 ガス災害統計による災害発生頻度の算出

1981年～1999年のガス炭鉱災害の規模を、3人以上9人以下と10人以上に分類し、発生頻度と件あたり死亡人数を求めた。国有炭鉱におけるガス災害発生頻度は、この間にも炭鉱整備や開発技術発展等はなされているはずだが、一定の水準が保持された。一方、件あたり死亡人数では、10人以上死亡事故において、全炭鉱、国有重点炭鉱の分類に関わらず大きな変動を示している。変動があまりにも大きいため、その値の増減傾向は明確に確認できない。そのため、今後のリスク評価において用いる災害頻度や件あたり死亡率はこの期間の平均値を用いることとした(表 3.1)

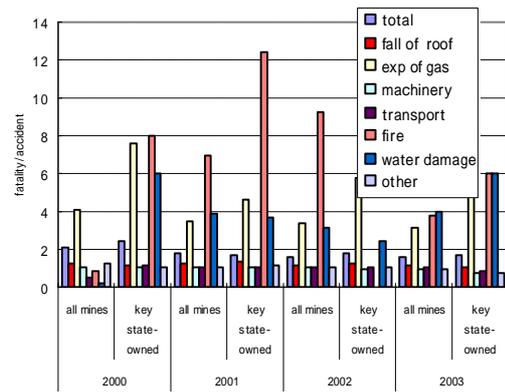


図 3.3 原因別災害の死亡人数 / 災害件数

表 3.1 被害規模別死亡率と発生頻度

	3～9人死亡事故		10人以上死亡事故	
	死亡人数 (人/件)	発生件数 (件/Mt)	死亡人数 (人/件)	発生件数 (件/Mt)
全国	4.81	0.1525	18.98	0.0344
国有	5.17	0.0202	27.25	0.0108

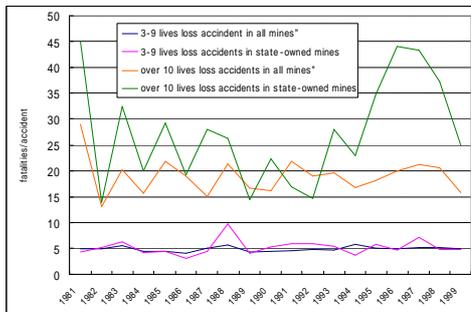


図 3.4 件あたり死亡人数

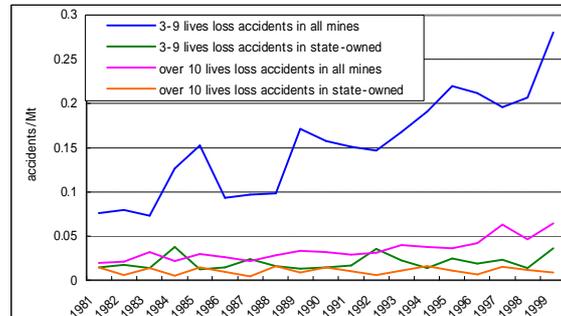


図 3.5 災害発生頻度

3.4 損害額の推定

中国における2000年～2003年に起こったガス災害案件で損害額と死亡人数の値が入手できたものから、災害規模と損害額の間を回帰分析により求めた。しかし、下のデータのばらつきが大きいため、回帰式から95%の信頼区間を求め、範囲を持った推定を行なう。信頼区間は以下の2つの方法で求める。

$$\hat{y} - t_{n-2}(0.025) \cdot \sigma \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad y$$

$$\hat{y} + t_{n-2}(0.025) \cdot \sigma \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad y$$

$$\hat{y} - t_{n-2}(0.025) \cdot \sigma \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad y$$

$$\hat{y} + t_{n-2}(0.025) \cdot \sigma \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad y$$

ただし、 σ は誤差分散の不偏推定量、 $t_{n-2}(\alpha)$ は T 分布を示す変数であり、自由度 $n-2$ の 100 % 点である。

当初災害規模の指標として災害による死亡人数と損害額の相関を調査した。しかし、国内の各省ごとに石炭産業を取り巻く経済的環境が異なるため、その点を考慮する必要があると考えた。そしてその指標として、所有する情報のうち利用できると思われた災害発生地の炭鉱労働者給与を使用し、給与と死亡人数の積と、損害額の相関を求めた。二つの回帰分析結果では、決定係数 R^2 の値は前者が 0.690、後者が 0.837 と、後者の設定による説明率が高い結果となった。結果を図 3.6、図 3.7 に示す。第 1 式を推定信頼区間、第 2 式は予測信頼区間と呼称する。前者は回帰式の説明関数の期待値、後者は説明関数そのものの予測である。そのため、後者は前者の誤差を加味した予測なるため、信頼区間は拡大される。本研究の場合、回帰式によって推定される損害額と比較して信頼区間が大きく、あまり推定の意味をなさない。よって、以降は死亡人数と給与の積を従属変数とした分析結果をもとに損害額の推定を行っていく。

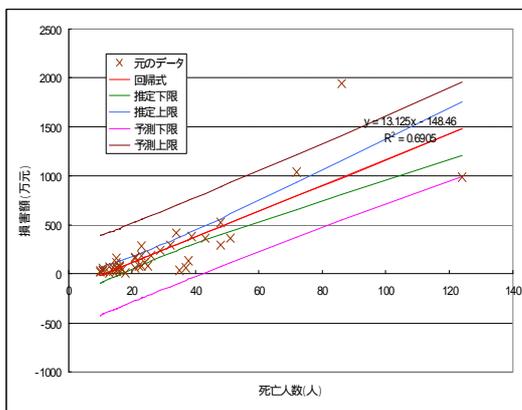


図 3.6 死亡人数と損害額の回帰分析

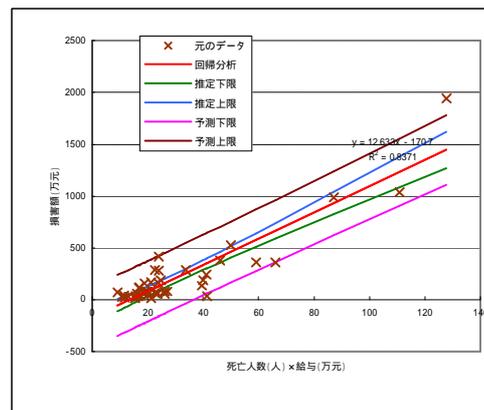


図 3.7 死亡人数 × 給与 vs 損害額

4. 災害リスク評価

4.1 全国国有重点炭鉱

これまで統計により求められた 10 人以上死亡ガス災害発生頻度と、件あたり死亡人数を基に、2000 年から 2003 年の災害リスクを推定する。死亡人数と給与は以下の方法により求める。

$$(\text{死亡人数}) = (\text{災害発生頻度}) \times (\text{生産量}) \times (\text{件あたり死亡人数})$$

$$(\text{給与平均}) = \left((i \text{ 省における現場従業員給与}) \times (i \text{ 省における石炭生産量}) \right) \div (i \text{ 省における石炭生産量})$$

以上をもとに算出された結果を表 4.1 に示す。災害に関する統計量は分析によって得られた結果であり定数であるため、この損害額の増加は近年の石炭生産量の増加が大きく影響している。2003 年の段階では損害額が約 2000～2800 万元であるが、この年の国有炭鉱のみで生産されている総石炭生産量は約 8 億 t であり、年間数百億元の利益を上げていることから、重大ガス災害による国有重点炭鉱への年間リスクは利益の 0.1% 程度の水準と大変低いことが明らかとなった。

表 4.1 国有炭鉱災害リスク

	損害額 (万元)	
	下限信頼限界	上限信頼限界
2000年	1323.10	1838.36
2001年	1510.97	2105.15
2002年	1750.05	2436.65
2003年	2039.10	2823.40

4.2 CMM 事業への影響 (安徽省淮北炭鉱地区芦嶺炭鉱)

災害が発生した場合の損害額を推定し、1 年あたりの損害リスク額を事業期間中に CMM 事業収入から回収し、リスクヘッジのための貯蓄する場合の収益性への影響を調査した。ここでは、既存の研究により行われた安徽省淮北炭鉱地区芦嶺炭鉱での CMM 事業評価をもとにケーススタディを行なった。この炭鉱ではこれまで、回収した CMM の一部を石炭層へ再注入していたため、これを周辺地域での都市ガス利用を行なう。概要を表 4.2 に示す。事業評価は、炭素クレジットの購入額を 0、2、5、10\$/t-CO₂ でそれぞれ評価されているため、本研究においてもその形式を引き継いだ。ガス災害統計分析により、国有炭鉱での 10 人以上死亡ガス災害における平均死亡人数は 27.25 人/件、また災害発生率は 0.0108 件/Mt により、この炭鉱における損害規模と災害発生確率をもとめ、事業収益性への影響を調べた。収益性への影響を IRR (評価機関 15 年) の変化によって示したものが表 4.3 である。毎年の事業収益と比較すると、損害リスク額は 0.5～1.5% 程度であり、これによる収益性への影響も IRR 値が 0.1～0.2% の水準で影響が出る程度であるため、CMM 事業によるリスクヘッジは十分に可能である。

表 4.2 事業概要

	芦嶺炭鉱
CMM事業	回収して採炭後坑道へ注入していたCMMの都市ガス利用
初期投資	8735万元
出炭量	230万t/年

表 4.3 収益性 (IRR) 評価

	事業評価	損害下限	損害上限
0\$/t-CO ₂	0.615%	0.469%	0.423%
2\$/t-CO ₂	3.769%	3.641%	3.600%
5\$/t-CO ₂	8.896%	8.786%	8.751%
10\$/t-CO ₂	16.263%	16.167%	16.137%

5. まとめ

過去の炭鉱災害統計を基に、現在の中国国有重点炭鉱におけるガス災害発生確率と、平均ガス災害規模を求めた。また、過去の重大災害案件によりガス災害規模とその直接損害の関係を分析した。以上の 2 点から、現在の炭鉱事業における炭鉱災害リスクの定量化を行なった。これにより得られた損害額を CMM 事業収益により相殺するため、資金回収を行った場合の収益性への影響を調査したが、CMM 事業収益と比較した場合の災害リスクは軽微であり、これによるリスクヘッジは十分に可能であることが明らかとなった。

< 参考文献 >

- ・ 国家煤礦安全監察局人事司 編： 全国煤礦 特重大事故
- ・ 国家煤礦安全監察局人事司 編： 中国煤炭工業年鑑 Vol.1995 - Vol.2003
- ・ 新エネルギー・産業技術総合開発機構；国際石炭利用対策事業 環境調和型石炭利用システム可能性調査 中国炭鉱メタンガス回収・利用 CDM 化プロジェクト可能性調査