

# マルチエージェントシミュレーションによる JCO 臨界事故の解析

埼玉大学 ○鈴木章彦

埼玉大学 斉藤弘朗

埼玉大学 渋谷秀雄

## An Analysis for the Criticality Accident at JCO by a Multi-agent Simulation

Akihiko SUZUKI, Hiroaki SAITO and Hideo SHIBUTANI

### 1 緒 言

1999年9月30日午前10時35分、茨城県東海村で我が国初の臨界事故が発生した。臨界継続時間19時間40分、被爆者数439人、避難・退避した住民数は30万人以上というこの異例の事故は、様々な教訓と、そして傷跡を残した。直接の原因は作業員たちの違法マニュアルに基づく作業工程のずさんさにあるが、事故発生に至るまでそのずさんさに気づけなかった原子力安全委員会、科学技術省、そして核燃料というきわめて危険なものを扱うにあたっての知識を欠いたままの企業経営者たちなどさまざまな要素がこの事故を引き起こした本当の原因であろう。

本研究では、マルチエージェントシミュレーションを用いて今回の事故のモデル化に努め、なぜこのような事故が起きたのか、どうすればこのような事故が二度と起きないのかということについて考察した。

マルチエージェントシミュレーションのソフトは構造計画研究所の「KK-MAS」を用いた。

### 2 シミュレーション

#### 2.1 モデル概要

事故の原因として、核燃料が海外受注主流になってしまったことによるJCOの経営悪化ということから、監督省庁の不行き届きまで、様々なものがあるが、今回はJCO社内における経営者と現場の作業員達が相互に影響を及ぼしあい、どのようにして安全意識が低下しあのような杜撰な作業をするにいたったのかをマルチエージェントシミュレーションを用いてモデル化する。

#### 2.2 エージェントとその振る舞い

エージェントは4種類、Manager(経営者)とLeader(現場のリーダー)が一人ずつ、Worker(作業員)を4名配置し、事故当時のJCOの作業員達を再現。その他にWatcher(監督者)を置き、仮に事故当時に監視が行き届いていたらどうであったのかを検証する。

主にシミュレーションは経営者、リーダー、作業員4名の合計6名のエージェントたちにより進行していく。6名のエージェントはそれぞれActivity(やる気)、Safety(安全意識)、how to(作業方法)、Device(使用する装置)という変数を持つ。やる気と安全意識は数値で与えられ、1から100の間で変化し、初期値が50で与えられる。作業方法と装置は文字列で与えられ、作業方法は初期値が「通常」、そして「バケツ」へ、装置は初期値が「溶解塔」、そこから「貯塔」、「沈殿槽」というように、安全意識の低下に伴い実際の事故と同じような変化をしていく。また、作業方法と装置には「作業効率」が実数で与えられ、これがエージェントの作業における「成果」に影響する。作業方法は「通常」の効率が0.5、「バケツ」は1.0とする。装置のそれぞれの効率は「溶解塔」が0.5、「貯塔」が1.0、

「沈殿槽」は2.0である。しかし、例えば5人が「バケツ」でも、一人だけ「通常」の場合、効率は「通常」の0.5となる。このように、全員の作業方法や装置が変化しない限りは効率は変化しないものとする。

エージェントの振る舞いについて説明する。

最初にやる気の相互作用がエージェント間で発生する。隣接しているエージェントのやる気の方が自分より高いか低いかを計算し、自分より高いエージェントのいる割合、低いエージェントの割合がそのまま自分のやる気の上下する確率となる。

次に安全意識の変化が起こる。安全意識は上司の影響と自分の作業の経験値の二つから影響を受けて変化する。リーダーなら経営者、作業員ならリーダーというように、上司の安全意識が自分より高ければ自分の安全意識も上がり、逆に低ければ下がるという変化をする。しかし上司と自分の安全意識どちらかが50を境に上、どちらかが下というように差がある場合、部下側のやる気が下がる。

実際に作業をするに当たって、その成果を0にしてしまうような不安全行動(作業ミス)を確率的に起こしてしまう。ミスの確率は安全意識の逆数で定義される。エージェントはこのときの安全意識の値と、作業ミスの有無を記憶する。もし作業経験の統計から、現状の安全意識の値の時よりもミスの割合が低い安全意識があれば、その値に近づくように変化する。仮に今の安全意識が50として、作業経験からその値のミスの割合が50%、それより低いときのミスの割合が80%、高いときの割合が30%なら、そのエージェントの安全意識は上がることになる。

安全意識が40に低下すると、やる気に比例した確率で作業方法が「バケツ」に変化する。もし他のエージェントがすでに「バケツ」に変化している場合は、安全意識が40になると自動的に「バケツ」に変化する。同様に安全意識が30において装置が「貯塔」に、20において「沈殿槽」に変化する。

事故(臨界事故)はリーダーを含む5名の作業員全員の作業方法が「バケツ」であり、装置が「沈殿槽」になったとき、2名以上が不安全行動(1度に7バッチの投入をすることに対応)をしたときに発生するとした。不安全行動をする確率は1/(安全意識)とした。事故発生または最大ステップ数2000をもってシミュレーションを終了した。

次に「成果」について述べる。リーダーと作業員エージェントは作業を行い、上記のようにして決定した変数により、成果が決定する。成果は下の式で計算される。

$$\text{成果} = \text{やる気} \times \text{作業方法の効率} \times \text{装置の効率} \quad (1)$$

ただし、もしミスをした場合、そのエージェントの成果は0となる。この式によって求められた一人一人の成果の5人分の合計と「ノルマ」を経営者は比較する。ノルマの初

期値は、各エージェントの変数の初期値から計算し 62.5 とする。

成果がノルマを達成できた場合、全員のやる気が上がり、経営者はノルマをさらに上昇させる。このとき、作業員は、自分のミスがなかった場合に、やる気に反比例する確率で安全意識を下げってしまう。

もしノルマを達成できなかった場合、経営者はノルマを下げる。また、そのとき、全員のやる気が下がり、成果も下がる。ただし、リーダーと作業員は達成できなかった場合に、経営者はある回数連続で達成できなかった場合にやる気に比例した確率でやる気を上げるが、そうでない場合効率を優先させるため安全意識が下がってしまう。

ここで別空間に Watcher(監督者)を配置する。監督者は経営者の安全意識を監視し、閾値以下になったと判断すると Guide(指導)を行う。指導を受けた経営者は成果が下がることがあってもそれ以上安全意識を下げず、代わりにノルマを下げるようになる。しかし監督者から見る経営者の安全意識と実際の数値との間にはズレが生じることがあり、そのズレ  $x$  の生じる確率は  $N(0, 1)$  の標準正規分布における分布関数  $\Phi(x)$  で与えられるものとした。経営者の実際の値が本当は閾値より下がっていなかった場合、指導を受けた経営者のやる気は下がってしまう。

この一連の流れを「1 ステップ」とし、事故発生までのステップ数、その間の成果の総和とミスの回数などを比較することで、どのような条件なら安全に近づくのかをシミュレーションしてみた。

### 2.3 シミュレーション条件と結果

シミュレーション開始時の初期条件を表 1 に示す。

監督者の閾値を 10 から 30 まで 5 刻み、続けて 40, 50, 60 と 10 刻みで変化させ、結果の違いを比較する。結果を表 2 に、それをグラフにしたものを図 1～3 に示す。

事故が発生する条件がそろうのは全エージェントの安全意識が 20 以下になった場合である。閾値が 25 までは、事故発生を防げなかった。この原因は経営者の安全意識に対する監督者の判断に誤差があることと、もうひとつは、経営者よりリーダーと作業員の安全意識が下がってしまうことが挙げられる。閾値を 30 以上に設定することで事故を防ぐことが出来た。しかし閾値を上げすぎると極端に成果が下がるという状況も確認された。

また、閾値と別にノルマの変動値を変化させたところ、成果の下落に対してノルマを下げずにいると、そうでない場合に比べて、安全意識の低下が著しいというシミュレーション結果も得られた。

### 3. 結言

マルチエージェントシミュレーションを用いて JCO 臨界事故のプロセスを、定性的ではあるが模倣・再現することが出来た。

臨界事故の要因のひとつである「安全意識の低下」は経営者側のノルマ達成の圧力、そして経営者と技術者お互いの安全意識の低下の相互作用が大きい。

また、経営者の安全意識を監視し、事故の予想される値以下に低下しないよう歯止めをかけることが事故防止に有効であるということが示された。

参考文献 略

Table 1 Initial Values of Variables

Variable	Initial value
Activity	50
Safety	50
How to	normal
Device	dissolution tower
Memory survival period	100
Change unit of quota	10

Table 2 Results of Simulation

Safety limit	10	15	20	25	30	40	50	60
Last step number	1031	1213	1143	1824	2000	2000	2000	2000
Mistake per step	0.1496	0.1499	0.1400	0.1744	0.1519	0.1211	0.1043	0.1010
Grand total of gain	256371	296160	298086	633213	683421	352761	204814	208284
Gain per step	249.00	242.91	258.21	344.16	341.71	176.38	102.41	104.14

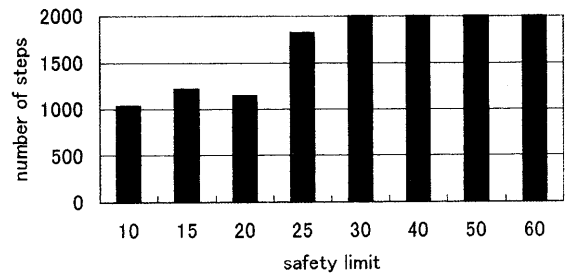


Fig.1 Steps to accident or maximum simulation step vs safety limit

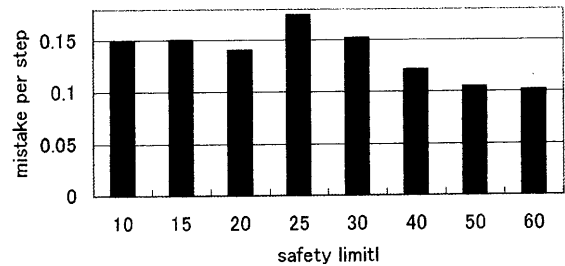


Fig.2 Frequency of a mistake vs safety limit

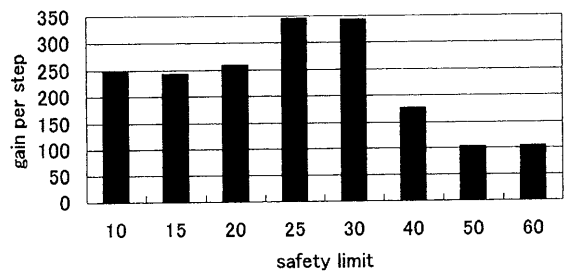


Fig.3 Gain per step vs safety limit