

エデルマンの勇者たち (12)

宗教のOR, メッカへの大巡礼

伊倉 義郎

1. はじめに

今回の件は一言で言うと、なかなか難しい話です。理由としては、イスラム教という私には若干なじみの薄いトピックであること、もう一つにはサウジアラビアという遠い国で起きた出来事であることです。最近では原油価格の変動やテロ関連の話題が毎日のように報道されていて、中東も割に身近に感じる存在ではあります。しかし、改めて今回のような話を聞くと、果たしてわれわれの理解はいかほどのものなのか、もしかすると本当に表層的なものかもしれないということに気づかされます。宗教のみならず文化、経済面にも関わる話なので、深くいろいろと考えさせられる一件です。

では本題ですが、2015年のEdelman賞最終コンペに、サウジアラビア政府の自治省（Ministry of Municipality and Rural Affairs, 以下 MOMRA）が選ばれました。その対象プロジェクトは、ハッジ（日本名は大巡礼）の管理とスケジューリングという話題です。そもそも大巡礼とは何か、少し説明が必要です。

イスラム教信者の行うべき「五つの行為（五行）」の一つに、大巡礼（Hajj, ハッジ）というがあります。これは一生に一度サウジアラビアの聖地メッカ（正式名はマッカ）を訪れ、一連の宗教的儀式を行うことです。ほかの四行（告白、礼拝、喜捨、断食）が日常的な行為であるのに対して、大巡礼は経済的・体力的に可能な信者のみがなす大変名誉な行と考えられています。したがって毎年数百万人の信者がメッカを目指して世界中から集まり、6日間にわたって種々の修行と礼拝を行います。

ここで問題は近年（過去20年くらい）に大巡礼を行う信者の数が大幅に増えてしまい、サウジアラビア政府が世界中からの訪問信者を安全に管理しきれなく

表1 MOMRA 発表による大巡礼での事故死者数

年	場所	死者数
1990	歩行者用トンネル	1,426
1994	ジャマラット橋	266
1997	ジャマラット・プラザ（東側入口）	22
1998	ジャマラット・プラザ（東側入口）	118
2001	ジャマラット橋	35
2004	ジャマラット橋	251
2006	ジャマラット橋	363

なったという点です。その結果1990年から2006年までは、大巡礼中の種々の場所で毎年のように死者が出していました（表1）。

このように多数の犠牲者が出てしまったのは、儀式間の移動中に一部の施設で多数の人が溢れてしまい、将棋倒しによる圧死事故が起きてしまっていたからです。聖なる修行のはずが、なぜそのような惨事が毎年繰り返されたのでしょうか。それが今回の最大の謎というわけです。

2. 大巡礼（ハッジ）とは

まず大巡礼とはどのようなものか、簡単に解説します。正式なイスラム信者として、サウジアラビア政府に巡礼の申し込みをすればしばらく時間がかかりますが、大体数年後には許可が下りるそうです。昔（20世紀前半くらいまで）は陸路からしかメッカを訪れる術はなく、大変な費用と危険が待ち受けていたようです。それが近年になって陸路以外にも海路や航空便も利用できるようになり、会場までの旅も安全でだいぶ楽になったために申込者の数も急増しているわけです。ちなみに、イスラム教信者以外は、聖地メッカを訪れることすらできないので、大巡礼の詳しい内容はあまり知られていないのですが、日本人でも経験された方らいて、その体験記を読むことはできます。

さて、大巡礼はイスラム暦（大陰暦）の第12月（大西暦の9月から12月）の8日目に始まります。巡

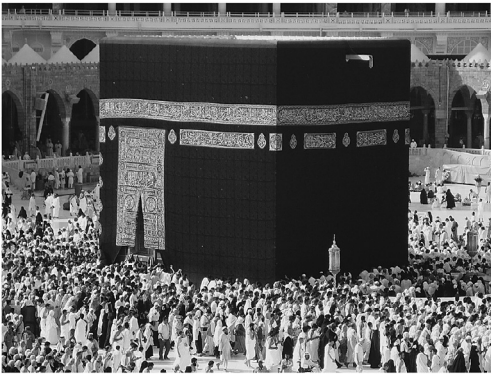


図1 カアバ神殿 (Wikipedia.com より)

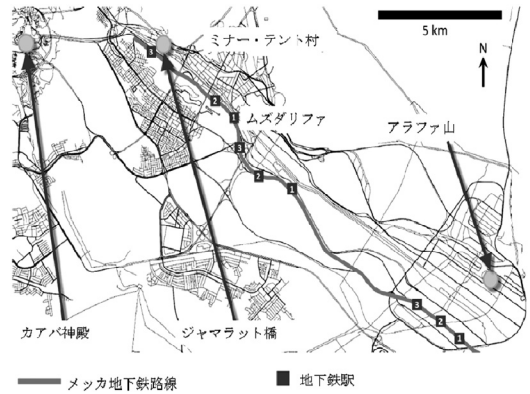


図2 メッカ周辺の地図 [1]

礼の準備ができて出発すると、サウジアラビアのメッカ市郊外の空港に到着します。そこから陸路でメッカへ向かい、まずは予め決められた宿泊施設に泊まることになります。

翌日メッカで巡礼者が最初に行う儀式は、カアバ神殿の周りを7周廻る儀式です。カアバ神殿はイスラム教における最高の聖地ということで有名です。神殿は四角い3階建てくらいの建物ですが、黒色の幕に金色の刺繍で聖なる言葉が施された大変きれいな建物です。世界中のイスラム信者が毎日礼拝を行うのも、そのカアバ神殿の方角を向いて行うとのことです。余談ですが、最近のスマホにはGPS機能を利用して、カアバ神殿の方角を示すアプリも用意されているとか。

カアバ神殿での礼拝を終えると、メッカから約6km離れたミナーというところにあるテント村に移動します。このミナーのテント村がその後6日間の活動拠点となります。テント村の割当は、サウジアラビア政府(具体的には内務省)により完全に仕切られていて、国ごとに場所が決められているとのことです。

翌日(巡礼月9日め)には、ミナーから14km離れたアラファという場所に行き、一日中祈りを捧げます。ミナーからアラファまでは電車やバスもあり、そのスケジュールや移動手段まで、すべて内務省の管理下にあります。アラファ山の礼拝の後、日没後にミナーとの中間にあるムズダリファという場所へ移動して野営をし、翌日の石投げに備えて小石を7個拾います。夜が明けて翌日(10日目)にはミナーに戻って、石投げ(Stoning)を行います。石投げの儀式は、悪魔を追い払うという故事にちなんでおり、大巡礼の一つのクライマックスです。石投げの行われるジャマラット橋は、ミナーの町外れに位置し、テント村からは歩ける距離です。石投げの儀式の後には、メッカのカアバ神殿に再度お参りをし、日没後にミナーに戻ります。

この石投げとカアバ神殿での礼拝の往復は3~4日間行われ、最終日にメッカに戻ってすべての修行が終了となります。

大巡礼を無事終えた信者は、それまでに犯した宗教上の罪をすべて許され、晴れて新しい気持ちで故郷へ戻るということです。また故郷では大巡礼を終えた信者は尊敬の念で迎えられ、その偉業は一生讃えられるとのことです。

3. 管理者側の問題

大巡礼の実行管理を行うのはサウジアラビアの内務省ですが、今回ハッジ関連の施設の改修を担当したのは自治省(MOMRA)という政府機関です。毎年死者が出るような状態では、サウジアラビアの管理能力そのものが問われる危機であったわけで、MOMRAは多数の巡礼者達がスムーズに巡礼の儀式を遂行できるように、大巡礼に関するすべてのリソースの見直しを命ぜられました。

事故の場所を見てみると、2001年から2006年までに多数の死者が出ていたのは、石投げが行われるジャマラット橋付近でした。それゆえ、2006年の時点では、この施設での人の流れをどうするのが大きな焦点となっていました。そこでMOMRAは、種々の施設の大改造や新しい輸送手段の導入、さらに人の流れを円滑にするべく巡礼者のスケジュールリングの作業に取り組み始めました。

まずジャマラット橋での石投げ場の建造物そのものですが、容量を大幅に拡大するべく、それまで2階建てだった構造体を5階建てに改築し、合わせて橋の形や道路のレイアウトなどの修正も行いました。ここでのポイントは、単に建物の大きさやキャパシティーをハード的に増やすだけでなく、人の流れの方向、タ



図3 ジャマラット橋の昔と今 [2]

イミグなども変更の対象としてソフト的な面での改良も行った点です。

ジャマラット橋付近で死者が出る際の問題は、大勢の人が異なる方向で行き交うことによって大混乱が生じてしまったという点です。多数の人が行き交う状況では、危険を避けるべく一方通行とするのが大前提ですが、必ずしもそれが守られていたわけではありませんでした。それまでの習慣や宗教的な理由で、慣行を打ち破るのが難しい状況にあったようです。しかしながら毎年多数の犠牲者を出し続けるわけにもいかず、MOMRA としては施設や巡礼スケジュールも含めた大改革に取り組まなければならなかったわけです。

そのような大改革にソフト面で大きく寄与したのはドイツのハンブルク大学でした。なぜ当大学にご指名がいったかは、それまでの人的繋がりからのようです。サウジアラビアの政府関係者（つまり王族関係者）の留学先としては欧州、特にドイツの大学に人気があるようです。ちなみに、MOMRA の大巡礼関連の施設改造の総責任者であるハビブ博士（Dr. Habib Zain Al Abideen, 副大臣）も、学士・博士課程ともにドイツの大学で履修していますので、ドイツの大学にコンサルの依頼がいったのも極めて自然な流れと考えられます。今回は、ハンブルク大学の輸送経済学科へ、施設的设计や混雑度のシミュレーション、群衆心理の分析と巡礼のスケジュールリングシステム・プロジェクトなどが委託されました。

ハンブルク大学の OR 部隊が担当した案件は、巡礼者の石投げ儀式に関するスケジュールリングシステムです。ジャマラット橋付近での石投げは大巡礼のハイライトですが、2006 年当時はそのが一番危険な場所であり、特に真昼の時間帯はどうしても人が集中しがちでした。そこで MOMRA では 2007 年より、各国の巡

礼申込者に対して石投げの儀式をすべて事前に割り当てられた時間帯で行うようにすべく、石投げの最適スケジュールリングを行う方式を導入しました。各国の巡礼者は申し込みの際に希望の時間帯を 3 個まで指定できるようにし、それらの希望を考慮しながら、種々の構造物のキャパシティーや交通機関のスケジュールも加味して、最適化を行ったわけです。

特にこのスケジュールリングモデルでは、石投げの時間帯のみならず、ミナーのテント村からジャマラット橋までの交通手段（電車、バス、トンネルや橋を使った歩行など）やジャマラット橋の出入り口も含めたルート、各日の時間帯も変数として設定してあります。目的関数は各巡礼グループの希望時間帯からのずれを最小化すべく設定し、各ルートのキャパシティーを制約とした巨大な混合整数計画問題を解くこととしました。

実際に解かれた混合整数計画問題 [1] の特徴としては、希望時間からのずれを目的関数に表現する際にずれの 2 乗をとることとか、各時間帯の施設キャパシティーにかなりの安全幅を確保することなどが挙げられます。これは、サウジ国内からの巡礼者はあまりスケジュール管理ができないとのことで、結果的に約半数くらいしか厳密規制ができないという事情もあるからとのことです。

これだけの仕組みを作り、徹底したスケジュールの最適化を行い周到な準備はするのですが、実際には、やはり出たとこ勝負という事情もあるようです。それゆえ、多くの場所にカメラを設置し、リアルタイムで人の流れを監視するシステムも導入しています。スマホによるアプリも準備され、IT 技術を駆使している一方で、宗教上の行事であるという理由でどこまで数理ロジックによる規制が効果的かという疑問がどうしても残るようです。

4. Edelman のプレゼンテーション

2015 年 4 月に Edelman 賞コンペがカリフォルニア州ロングビーチで行われ、MOMRA チームも参加しました。ドイツからはハンブルク大学の OR グループが参加し、サウジアラビアからはハビブ博士を中心にした一行が現地入りしました。特に MOMRA からのグループはサウジアラビアを代表して参加するという観点からも、コンペでの優勝という悲願に向けて、かなりのプレッシャーがあったと聞いています。

事前のプレゼン内容に関しては、ハンブルク大学+われわれコーチ陣と、ハビブ博士を中心にした MOMRA グループとの見解の相違がありました。主な議論点は、



図4 MOMRA チームの記念撮影

今回のハッジ大改革に関して OR がどの程度効果があったかを認めるかという点です。コーチ陣も含めハンブルク大学の OR 関係者は、その点は大きな効果があったはずで、それをプレゼンで忠実に証言すべきという意見でしたが、MOMRA としてはどちらかという建造物の拡大改修や巡礼者フロー最適化からの建造物の設計改革に焦点を置くべきという意見でありました。特にコーチ陣としては、Edelman 賞での優勝を目指すという観点からは、やはり OR の効果についての議論に集中すべきという助言でしたが、MOMRA 対ハンブルグ大学との力関係で、結論は明らかでした。特に設計の総責任者であったハビブ博士としては、自分のデザインがいかに優れているのかを強調したくなるのはごく自然な流れと思われました。

この議論はプレゼン前日の深夜まで繰り返され、結局もう一人のコーチ（エジプト系米国人）がアラビア語を話せるということで、彼に説得の重責が課せられた形になりました。

前日までの論議で心配された最終プレゼンでしたが、結果的にはプレゼンの内容はそれなりの OR 効果を認め、それ相応の評価を与えた内容になっていました。ハンブルグ大学関係者やコーチ陣の心配はひとまずクリアされ、一応の安堵感を得ています。

ただ、最終的には MOMRA チームは優勝できませんでした。これはいわば時の運で仕方のないことと考えます。つまり、Edelman 賞での優勝は、ほかの参加プロジェクトとの相対的な比較なので、たまたまほかのプロジェクトの OR 効果がより単純明確であれば、どうしてもそちらへの評価が高くなります。

ハビブ博士を中心とした MOMRA 一行の落胆は大きかったようで、すでに予定されていた大々的な祝賀セレモニーその他の行事がすべてキャンセルされたとの話を後日談として聞いています。

5. 2015 年の事故

さて、これだけの仕組みを作り、徹底した巡礼者管理を行ったおかげで、2007 年から 2014 年の間死者はなくなり、大変スムーズな運営を行うことができたようになったわけです。しかし、非常に残念なことに 2015 年の大巡礼ではまたも悲劇が起きてしまいました。

主催社側（サウジアラビア）の発表では、776 名の死者が出たとのことですが、巡礼者の出身各国からの発表を単純に総計すると 2,000 名以上の死者がでたとの報告があります。何が起こったのでしょうか。

確かに、2015 年の大巡礼では何かが変わったようです。ウォールストリート・ジャーナルなどの主要新聞の記事によれば、今回参加した巡礼者の印象としては、以前とは変わってだいぶ規制が緩やかであった、ということが言われています。今回の死者が出た場所はアラファとミナー間のように、交通機関の乱れから両方通行が起こってしまい、圧死者続出による大混乱が起こってしまったようです。特に 2010 年に導入され、「工学上の奇蹟」と称賛されていたメッカとアラファ間の電車（中国製）が今回はなぜか動いていなかったという指摘もあり、多くの謎が残ったままです [3]。

また、2007 年より 2014 年まで、毎年大巡礼に関与してきた MOMRA およびハンブルグ大学も、2015 年度は直接関与していなかったとの報告があります [1]。

現時点では、サウジアラビアは原因の究明を約束したものの、その後の発表は何もない状況です。したがってここからはあくまで私個人の推測になりますが、一番大きな要因と考えられるのは、サウジアラビアの前アブドラ国王が 2015 年の 1 月に急死をしたことです。その後新国王として、サルマン国王が実権を握りましたが、新国王は「筋金入りの保守派」として有名です。ということはサウジアラビア政府内部でも何らかの変化があり、それまでの進歩的な取り組みにストップがかかったという可能性もあるのではないかと危惧されます。

特に昨年から今年にかけて原油価格の急落を受けて、サウジアラビア政府の収支も急速に悪化をしている状況です。その影響もあって、2015 年は巡礼管理が手薄になったのでは、あるいは今回から営利目的が優先されたのではないかと、という批判も出ています。今の時点ですべて憶測の域を超えないのですが、一刻も早く 2015 年の事故原因の究明と正式発表、2016 年の大巡礼に関する準備状況の発表が待たれます。

参考文献

- [1] K. Hasse, H. Z. Al Abideen, S. Al-Bosta, M. Kasper, M. Koch, S. Müller and D. Helbing, “Improving pilgrim safety during the Hajj: An analytical and operations research approach,” *Interfaces*, **46**, pp. 74–90, 2016.
- [2] “Presentation by MOMRA at the 2015 Franz Edelman Competition,” INFORMS Video Learning Center, https://www.pathlms.com/informs/events/352/thumbnail_video_presentations/10892
- [3] “Crowds Collided in Mecca Tragedy,” *Wall Street Journal*, September 26–27, 2015.