

国際協力

SESAME について

黒川 眞一*

SESAME, the Middle-East Light Source

Shin-ichi KUROKAWA*

Abstract

SESAME is an international research institute in the Middle-East, located at the north-west suburb of Amman in Jordan. The main facility of SESAME is a 2.5 GeV synchrotron light source now under construction. SESAME has been established under the auspices of UNESCO to promote sciences and to create peace in this region. Nine countries participate in SESAME as members: Pakistan, Iran, Turkey, United Arab Emirates, Bahrain, Jordan, Palestinian Authority, Israel, and Egypt. This paper describes the history, machine, and sciences of SESAME. It also mentions Japanese contribution to and role in SESAME.

1. SESAME とは

SESAME とは Synchrotron-Light for Experimental Science and Applications in the Middle East の頭文字を組み合わせて作られた、放射光加速器を中心装置とする、中東の国際研究機関の名前である。この名前は、SESAME の発案者の一人である、米国 SLAC の Herman Winick 教授の命名により、アラビアン・ナイトの有名な呪文「開けゴマ」によっている。SESAME とは、まさに、「開けゴマ」という呪文をとなえることで、いつ終わるかわからない紛争のさなかにある中東地域に、国家、人種、宗教を超越した国際的研究センターを創ろうとする大胆不敵な構想である。

SESAME は、2002 年末に、中東の 7 カ国が加盟を表明したことにより、正式な国際機関として発足した。放射光科学を通じて、中東地域の学術を振興することが第一のねらいであることはいうまでもないが、さらに、科学を通じて、この地域に平和を醸成する、いわゆる、“Science for Peace” も重要な目的である。SESAME には、イスラエルとパレスティナの両国が加盟していることが、まさに “Science for Peace” を象徴している。

SESAME 研究所は、ホスト国であるヨルダンの首都アンマンの北西 30 km、ヨルダンとパレスティナを分けるヨルダン川の東 30 km の Alaan に位置する。

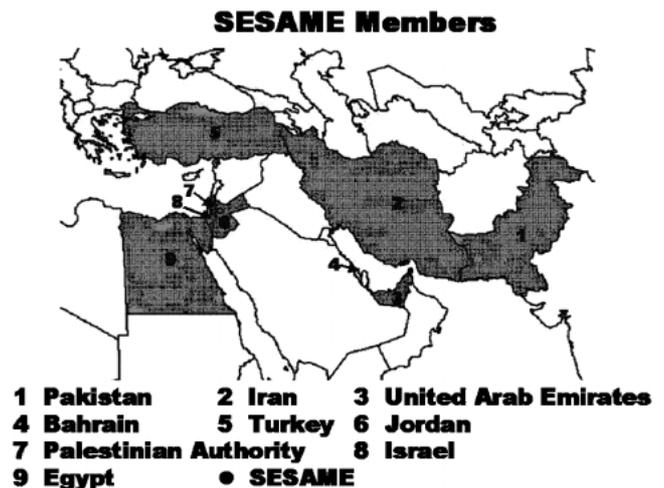


図1 SESAME の加盟国

この地は、ちょうど、東はパキスタンから西はモロッコまで広がる中東のほぼ中心にあたる。図1にSESAMEの加盟国を示し、図2には、SESAMEの位置をさらに詳しく示す。SESAMEの詳細は、URL <http://www.sesame.org.jo/> をみてほしい。

2. SESAME 小史

SESAMEの歴史は、KEKB加速器のレビュー委員会の委員長を、発足から2000年まで勤めていただいた、著名な加速器科学者であるDESYのGustaf-

* 高エネルギー加速器研究機構
KEK, High Energy Accelerator Research Organization



図2 SESAME の位置

Adolf Voss 先生が、1997年にイタリアのトリノで開かれた原子核物理の国際会議に出席されたときに始まる。この国際会議に、たまたま、2人のヨルダンの原子核物理学者、すなわち、アルバルカ実科大学の Mahmoud Kofahi 教授とヤルムーク大学教授の Sami Mahmood 教授が出席しており、話は、当然中東における加速器科学におよんだ。二人のヨルダン人教授は、Voss 先生に、中東には加速器がひとつもないと答え、Voss 先生は、放射光加速器としての使命をまもなく終えようとしていたベルリンの BESSY I を解体して中東に送り、再組み立てして放射光加速器として再生させるというアイデアを思いついた。

Voss 先生と Voss 先生の親しい友人である、上記の Winick 先生は、このアイデアを、CERN-based Middle East Scientific Cooperation group (代表は Sergio Fubini 教授) が組織したワークショップにおいて提案をした。提案は多くの人に受け入れられ、Fubini 教授と CERN の元所長である、Herwig Schopper 教授がドイツ政府と交渉を行い、ドイツ政府は、解体費用を中東側が負担するという条件のもとに、BESSY I を無償供与することを決めた^{注1,2}。

やがて、この計画は、当時の UNESCO 事務総長である Federico Mayor 氏の注目するところとなる。Mayor 氏は 1999 年に、パリの UNESCO 本部において、中東および他の諸国の代表が出席する会議を招集した。会議の結論は、この計画を準備するために、UNESCO のもとに暫定理事会を設置すること、そして暫定理事会の理事長には、Schopper 氏が就任するということであった。暫定理事会には、12 か国(バーレーン、エジプト、ギリシャ、イラン、イスラエル、ヨルダン、モロッコ、オマーン、パキスタン、パレス

ティナ、トルコ、アラブ首長国連邦) がメンバーとして、また 12 か国(アルメニア、フランス、ドイツ、イタリア、日本、クウェート、キプロス、ロシア、スウェーデン、スーダン、イギリス、米国) がオブザーバー国として参加し、2002 年末までに 9 回の会合が開催された。

暫定理事会においては、1)放射光加速器の設計、2)ホスト国とサイトの選定、3) SESAME の Statutes の策定が行われた。SESAME のホスト国には、ヨルダンが、土地と建物を提供するという条件で、選出された^{注3}。

暫定理事会における長い議論を経て、SESAME の Statutes が 2002 年始めにはできあがり、2002 年 5 月に開かれた UNESCO の Executive Board は全会一致で SESAME を UNESCO の auspices のもとに設立することを決めた。これを受け、松浦 UNESCO 事務総長名による正式の参加要請(メンバーおよびオブザーバー)が、各国に送られることになった。Statutes の中では、6 か国以上がメンバーとなることを表明した時点で、SESAME は正式な国際研究機関として発足することが明記されており、2002 年末までに、中東の 7 か国が加盟を表明した。2003 年 1 月 6 日に、ヨルダンの Alaan の SESAME サイトにおいて、UNESCO の松浦事務総長とヨルダンの Abdullah 国王が出席した起工式が行われ、翌日の 1 月 7 日には、中東の 7 か国を加盟国とする国際機関 SESAME と正式な SESAME 理事会が発足した。理事会の議長には Schopper 氏が引き続き選出された。暫定所長として、ヨルダン教育大臣である Khaled Toukan 氏が選ばれ、加速器の責任者である技術部長には、暫定理事会時から SESAME の設計を担当してきた、Dieter Einfeld 氏(ANKA の設計者、ドイツ人)が就任することになった。

2003 年 7 月から、建物の建設が開始された。また、暫定所長および技術部長に引き続き、管理部長(Hany M. Helal 氏、エジプト人)と科学部長(M. Aslam Baig 氏、パキスタン人)が着任し、研究所の体制も着実に整備されつつある。なお、技術部長は、2004 年から、BNL の放射光の建設にたずさわりの、その後 DAΦNE のリーダを勤めた、Gaetano Vinogla 氏(イタリア人)に交代した(前任者の Einfeld 氏は、Spanish Light Source に転出した)。2005 年 5 月には、暫定所長の Toukan 氏が正式に所長に就任した。

SESAME の現在の加盟国は、バーレーン、エジプト、イラン、イスラエル、ヨルダン、パレスティナ自治区、トルコ、パキスタン、アラブ首長国連邦の 9

カ国である。パレスティナとイスラエルの両国がともに参加していることが大きな特徴である。

また、現時点でのオブザーバー国は、米国、クウェート、リビア、ギリシャ、ロシア、スウェーデン、英国、ドイツ、イタリアの9カ国である。暫定理事会において、オブザーバーであった国の中で、フランスと日本がまだオブザーバー資格を持っていないことが目立っている。後に述べるように、日本は既にSESAMEに大きな貢献を行っており、当然オブザーバーになるべき国であり、また、できるだけ早くオブザーバーになることを強く要請されている^{注4}。

3. SESAME 加速器とビームライン

先に述べたように、SESAMEの当初の形は、1997年までドイツのベルリンにおいて運転されていたBESSY Iを解体してヨルダンに移し、再組み立てを行って、0.8 GeVの放射光として運転しようというものであった。やがて、検討が進むにつれ、X線を発生できる本格的な放射光加速器を作ろうという機運が高まり、まず、2.0 GeVの加速器が設計され、最終的には、周長133 mを持つ、2.5 GeVの放射光加速器を建設することに決まった。図3に、SESAMEの加速器の概念図を示す。SESAMEの建物は、設計コストを削減するために、ANKAの建物と同一とすることが早い段階で決まっており、60 m×60 mの面積を持つ。この中に周長133 mの加速器を収容し、かつ、十分に長い放射光ビームライン(30 m以上)を持つことができるように、建物の中心と加速器の中心をわざとずらしてある。図4にSESAMEの建物の完成予想図を、また、図5に、建設中の建物の写真を示す。SESAMEが、2.5 GeVの本格的放射光加速器として策定されたことにより、BESSY Iの機器の中で、再利用するものは、22.5 MeVのマイクロトロンと800 MeVのブースター・シンクロトロンだけになってしまった。また、将来のフル・エネルギー入射のための、119 mの周長を持つシンクロトロンが設計されている。

表1にSESAMEの加速器のパラメータをまとめる。蓄積リングは、8つのsuper periodからなる、Double Bend Achromat latticeを持つ。ビームのエミッタンスも26 nmと、ほぼ高エネルギー加速器研究機構のPFに相当する。蓄積リングには、4.44 mと2.38 mの二種類の直線部がそれぞれ8個あり、そのうちの4個は入射、RF、ビーム診断、ビームフィードバックに用いられるため、12個の直線部に、インサクション・デバイスを設置することができる。

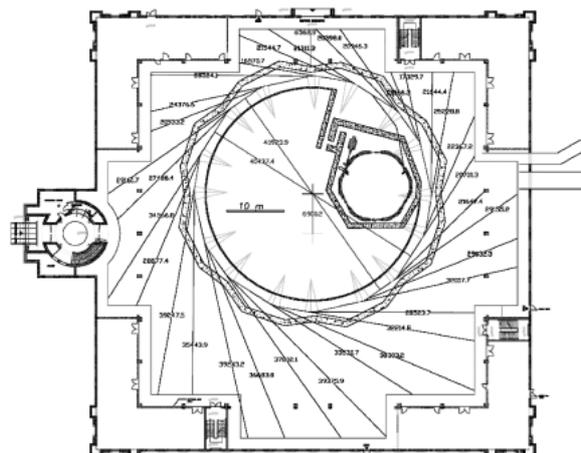


図3 SESAME 加速器の概念図

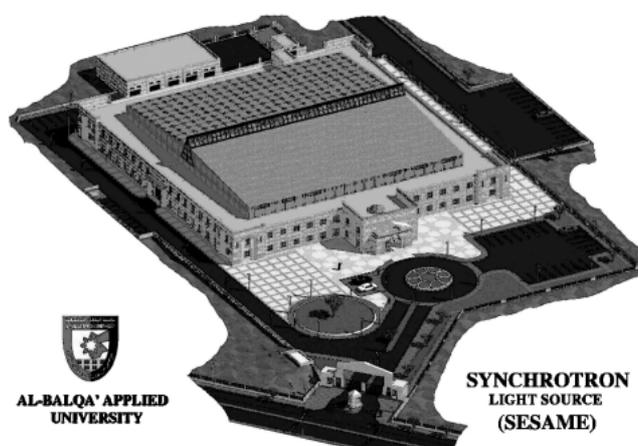


図4 SESAME の建物の完成予想図

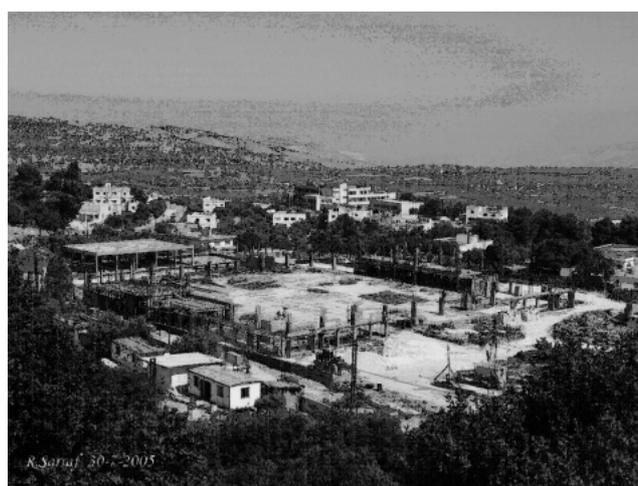


図5 建設中のSESAMEの建物の写真(2005年7月末現在)

SESAMEの加速器のエネルギーが2.5 GeVまで大きくなったことにより、X線の強度は飛躍的に増大

表 1 SESAME のパラメータ

	$Q_x = 7.23,$ $Q_y = 5.19$	$Q_x = 7.23,$ $Q_y = 6.19$
Energy (GeV)	2.5	
Circumference (m)	133.12	
N. of Periods	8	
N. of Dipoles	16	
Dipole field (T)	1.455	
Dipole field index	11	
Dipole Gap (mm)	40	
N. of Quadrupoles	64 (2 families)	
N. of Sextupole	64 (2 families)	
Mom. Compaction	0.00833	0.00829
N. Emitt. (nm rad)	25.5	26.0
H/V Chromaticity	-14.0/-13.8	-15.5/-19.0
U_0 (keV/turn)	589.7	
τ_e, τ_x, τ_z (ms)	2.81, 2.27, 3.77	2.80, 2.28, 3.77
RF freq. (MHz)	499.564	
Harmonic Number	222	
Peak Voltage (MV)	2.4	
%RF Acceptance	1.459	1.463
Synch. Freq. (kHz)	37.28	37.18
σ_L (cm)	1.16	1.15
Current (mA)	400	
N. of bunches	200	
1/e Lifetime (hr)	18.2	16.9

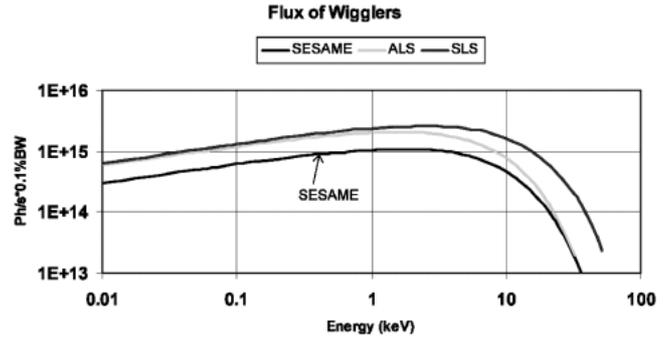


図 6 Wigglerを仮定したときに、10 keV 付近における SESAME における X 線 flux の ALS と SLS との比較

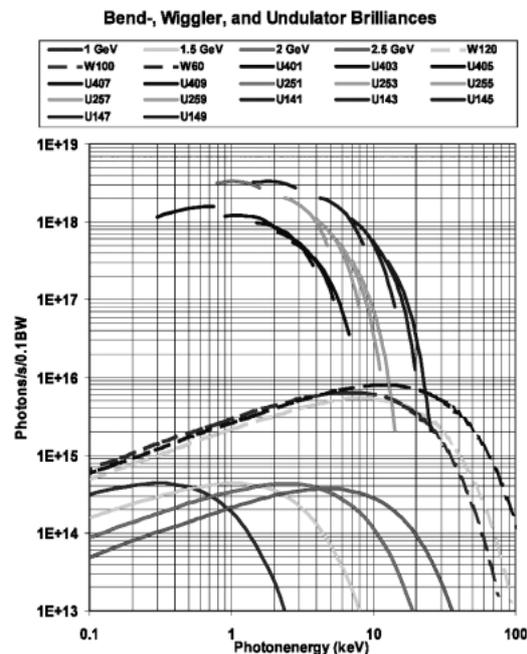


図 7 SESAME の Brilliance

し、適当な wiggler を仮定したときに、10 keV 付近では、他の中型放射光加速器 (ALS と SLS) と比較しても、遜色のない flux を持つことがわかる (図 6)。また、図 7 に示すように、Brilliance も、wiggler を用いたときには、10 keV 付近で 10^{16} 弱、undulator を用いた場合には、数 keV で 10^{18} という、十分な値を持つ。現在の SESAME 計画は、BESSY I を解体して 0.8 GeV の放射光として再利用しようという初期のものから大変身を遂げ、他の中型放射光加速器に遜色のない性能を持つ、本格的な放射光加速器を造ろうとするものである。

SESAME は最終的に、12 本のビームラインを持つことを計画しているが、第一期は、表 2 に示す、6 本

のビームラインからスタートする予定である。また、研究分野としては、Structural Molecular Biology, Atomic and Molecular Sciences, Surface and Interface Science, Environmental Science, Material Science, Archaeological Science の 6 分野が考えられている。中東地域は、世界で最も早く文明が開化した地域であり、また、多くの文明が次々と興亡を繰り返してきた。考古学 (Archaeology) への SESAME の応用に大きな関心と期待が寄せられている。

4. SESAME の問題点と今後

SESAME の参加国は、2 グループに大別される。最初のグループは、パキスタン、イラン、トルコ、イ

表 2 SESAME の最初の 6 本ビームライン

No.	Beamline	Energy Range	Source type	Champions
1	MAD Protein Crystallography	5–15 keV	MPW (In-vacuum undulator in phase 2)	Vlassi, Shoham, Salman, Rizkallah, Hasnain & Wakatsuki
2*	PES and Photoabsorption spectroscopy	5–1000 eV	Undulator	Hamdan, Baig, Mansouri & Hussain
3	SAX/WAXS	10 keV	Undulator	Sayers
4	XAFS/XRF	3–30 keV	2.5 Tesla MPW	Sagi, Mahmood, Hamdan & Hasnain
5	Powder Diffraction	3–25 keV	2.5 Tesla MPW	Ozdas & Pantos
6	IR Spectromicroscopy	0.01–1 eV	Large Aperture Bending magnet	Mahmood & Sagi



セミナーの参加者

セミナーのオープニングセレモニー

図 8 アンマンにおけるアジア学術セミナーの様子

スラエルである。これらの国は、しっかりした科学技術の基盤を持っており、SESAME における科学を支える中核的存在であり、SESAME 完成後は主要なユーザーとなると予想される。もう一つのグループは、アラブ諸国であり、その中には、アラブ首長国連邦やバーレーンのような産油国で金持ちの国もあるが、パレスティナ、ヨルダン、エジプトは非産油国であり、金持ちではない。後者のグループに属する国は、科学技術の基盤が弱く、SESAME を有効に利用するためには、今後これらの国の内部における基盤整備が強く求められている。

中東地域の政治は複雑であり、最大の産油国であり、最も豊かな国であるサウディ・アラビアは、イスラエルが参加するいかなる計画にも参加しようとしなない。また、アラブ諸国の中で最も科学技術が進んでいた国であったイラクの現状はよく知られた通りである。

SESAME 計画が 2.5 GeV というエネルギーを持つ

本格的な加速器に発展したことにより、計画に要する予算も当然のことながら増大した。SESAME は、EU に資金援助を求めており、EU は、外交委員会のもとに評価委員会を作って検討を行っているところである。EU が、SESAME の求めに応ずるかどうか、SESAME の将来を決める最も大きな要素である。SESAME は 2009 年末に運転を開始することを考えているが、そのためには、EU からの援助が、緊急に行われることが必須である。

5. SESAME に対する日本の貢献

2002 年 10 月 19 日(土)から 9 日間、日本学術振興会と KEK により、日本学術振興会アジア学術セミナー事業の一環として放射光科学に関するセミナーがヨルダンのアルバルカ実科大学を会場として実施された。セミナーの議長は筆者とヨルダンのアルバルカ実科大学副学長の Isa Khubais 教授が勤めた。図 8 にセミナーの様子を示す写真を載せてある。セミナーの経

費 1600 万円は、学術振興会が負担した。このセミナーには、中東やアジア諸国の放射光科学を研究する若手研究者を中心に 70 名の受講者が集まり、放射光加速器の基礎から、ビームラインの建設方法、放射光を用いた実験方法、放射光の応用といった放射光科学全般に渡る講義がなされた。ちなみに、このセミナーはヨルダンで行われた最大の科学に関する国際ミーティングであるとのことである。このセミナーの中から、SESAME のユーザーズ・ミーティングが産み出されたことは特筆すべきことであり、その後、2003 年にはイランで、2004 年にはトルコでユーザーズ・ミーティングが開かれ、今年の 12 月には、ヨルダンで第 4 回目のユーザーズ・ミーティングが開催される予定である。

SESAME の進行にともない、SESAME に関与する研究者と技術者に対する training の要求が強まっており、日本に対する期待が大きくなりつつある。

6. おわりに

筆者は、アジア学術セミナーの準備を始めた 2002 年初頭から、SESAME と関係してきており、そのときから、ほぼ毎回、SESAME の暫定理事会と理事会に出席してきた。アジア学術セミナーを開催し、また、理事会に出席することで、たくさんの中東の研究者と知り合い、多くのことを学ぶことができた。回教徒の科学者の持つ広い学識に圧倒されたこともしばしばのことである。

私の結論は、宗教や文化の違いを超えて、人間どうしはお互いに理解しあえるという、当たり前のことである。イスラエルとパレスティナの科学者が、仲良くまた真剣に SESAME の将来について話し合うのを目にし、また、アジア学術セミナーのおりに夕食に招待されたアラブ人学者の家で、パレスティナ人、パキスタン人、米国系ユダヤ人との間の、パレスティナの平和をめぐる、激しく、また同時に節度をわきまえた議論に加わるなど、まさに、“Science for Peace”を実感することができた。

なお、筆者は、今年の 7 月から、国際リニアコライダー ILC の運営委員会である ILCSC (International Linear Collider Steering Committee) の議長を務めることになった。SESAME に関わることで知ることができた、国際科学研究機関がつくられる過程は、ILCSC 議長として働くときに有効なヒントを与えてくれたと思う。

注 1：不要になった放射光加速器を発展途上国に無償で供与し、現地で再組み立てして利用する最初のケースは、日本のつくばにあった SORTECH の 1 GeV の放射光加速器をタイに送り、Siam Light Source として復活させたケースである。Siam Light Source は、2002 年に運転を開始し、すでにいくつかの実験が行われている。この計画を発案から、完成にいたるまで指導してきた、石井武比古先生の、先駆的な功績は高く評価されるべきである。

注 2：発展途上国、または中進国における現存の放射光加速器または建設計画を列挙するとつぎのようになる。
① 運転中のもの：1) Hefei Light Source (中国), 2) Brazilian Light Source (ブラジル), 3) Siam Light Source (タイ), 4) INDUS-I および INDUS-II (インド)。② 建設中のもの、1) SESAME (ヨルダン), 2) 上海放射光 (中国)。③ 計画中のもの、CANDLE (アルメニア)。その他、南アフリカにおいても、放射光加速器を建設しようという動きがある。なお、今年の 5 月に米国の Knoxville で開かれた PAC では、“Development in the South, East, and Middle-East Light Sources” という session があり、Brazilian Light Source, INDUS-II, SESAME, 上海放射光, CANDLE の現状が報告されている。なお、INDUS-II は現在コミッションング中であり、さる、8 月 27 日に蓄積リング中をビームが 4 回周回したことをお知らせする。

注 3：私が Schopper 先生からお聞きした、ヨルダンがホスト国になった裏話を紹介する。Schopper 先生ほか数名の科学者は、SESAME の候補地を探索するために、中東諸国を訪問していた。ヨルダンでは、誰にコンタクトをとっていいかわからなかったが、そういえば、かつてヨルダン人の学生が自分の元で研究をしていたことを思い出し、連絡をとってみようということになった。この学生とは、当時のアルバルカ実科大学副学長 Isa Khubais 教授であり、ヨルダン王室と強いパイプを持つ研究者であった。Khubais 教授は、まず、ヨルダン王室内で科学技術を担当する Ghazi 王子に連絡をし、王子はすぐさま国王に相談を持ちかけ、翌日には、ヨルダンは SESAME のホストとなることを希望するむねの国王署名の手紙が届いたそうである。ヨルダンが、国王が実権を持つ王国であることを示す挿話である。

なお、Ghazi 王子は、Oxford 大学で哲学の学位を取得したインテリであり、学位論文のテーマは、「愛について」ということである。王子の宮殿に招待されたとき、「源氏物語」について議論したことはなつかしい思い出である。Ghazi 王子は、科学技術担当であるとともに、ベドウィン族担当でもあり、公式の席には、ベドウィン族の装束で現れる。図 8 の右の写真中に Ghazi 王子の姿を見ることができる。

注 4：日本がオブザーバーになることが遅れている主な理由は、SESAME の Statutes の解釈をめぐる、日本の外務省と SESAME および UNESCO の間に食い違いがあるためである。ゆっくりではあるが、しだいに、相互理解が進みつつあるので、日本がオブザーバーの資格を取得するのはそう遠くない時期であると思う。