

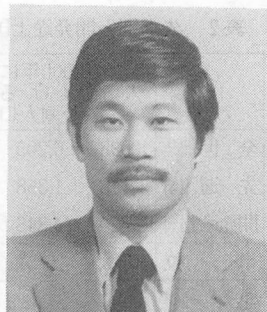
■ 展 望 ■

# 開発途上国のエネルギー問題

## Energy Problems in Developing Countries

槌屋 治 紀\*

Haruki Tsuchiya



1970年代のエネルギー危機は地球規模の資源と環境についての様々な議論を生みだす契機となったが、現実の問題として、エネルギー価格の上昇に対して先進国は、エネルギー利用効率を向上させる技術を積極的に導入し、代替エネルギー資源を開発し、脱工業化社会の入口をマイクロエレクトロニクスを中心とする情報化社会という形で開拓して行った。その結果、エネルギー需要は増加せず、石油需要は劇的に減少し、1980年代のエネルギー状況は複雑なものになってきている。

ところで、先進国がこのような形で明確な対応策をとったのに対して、開発途上国ではどのような状況が見られたのであろうか。本稿は開発途上国におけるエネルギー問題について簡単に報告することを目的としている。しかし筆者は開発途上国において長期にわたる生活の経験をもっているわけではなく、複雑で大きな問題の入口で資料の山を前にして考えを進めている途中であることをお断りしておきたい。

### 1. 開発途上国のエネルギー状況

まず地球上で生産されている商業的エネルギーの需要は、表1にまとめられるように、約40%が開発途上

国にある<sup>1),2)</sup>。しかし開発途上国の人口は全世界人口の75%を占めており、ひとりあたりの商業的エネルギー需要は、先進国に比較すると5分の1になっている。商業的エネルギーとして先進国では、石油、ガス、石炭が多く利用されているが、開発途上国では石油の占める割合が大きく全体の4分の3に達している。石油の多くを輸入する開発途上国における問題は極めて深刻になっている。

開発途上国のエネルギー問題を理解するうえで重要なファクターは、都市と農村の違いであろう。表2に示すように、開発途上国の農村人口は70%程度であるが、この数字は減少傾向にあり、21世紀の初頭には40%程度と予測されるように、都市への人口集中が生じている。都市の上流階層は先進国の市民と同じような生活水準にあり、商業的エネルギーを利用する機会が多いのに対して、都市の貧しい住民や農村では、周辺にあるバイオマスを中心とした非商業的エネルギーが使用されている。(非商業的エネルギーは、薪、木炭、動物の糞、農業廃棄物、家畜の動力利用などを意味するが、非商業的という表現は不適切になってきており、最近の国連の統計では、伝統的エネルギー(Traditional Energy)という呼称を用いようとしている。實際上、

表1 先進国と開発途上国のエネルギー消費(商業的エネルギー)、太陽エネルギー

	全エネルギー消費	石油・ガス	天然ガス	石炭	水素 原子力	太陽輻射	単位面積 あたり 太陽輻射	ひとり あたり 太陽輻射	人口
全世界	251	118	48.6	77.8	6.47	812	6.28	206	3.94
先進国	156	48.4	44.1	58.3	5.4	286	5.22	256	1.12
開発途上国	94	69.6	4.5	19.5	1.07	526	7.05	187	2.82
単位	10 <sup>18</sup> ジュール 年	10 <sup>18</sup> ジュール 年	10 <sup>18</sup> ジュール 年	10 <sup>18</sup> ジュール 年	10 <sup>18</sup> ジュール 年	10 <sup>21</sup> ジュール 年	10 <sup>9</sup> ジュール m <sup>2</sup> ・年	10 <sup>12</sup> ジュール 年・人	10 <sup>9</sup> 人

先進国は次の36ヶ国としている。

オーストラリア、オーストリア、ベルギー、ブルガリア、カナダ、チェコスロバキア、デンマーク、フィンランド、フランス、西独、東独、ギリシャ、ハンガリー、アイスランド、アイルランド、イスラエル、イタリア、日本、リヒテンシュタイン、ルクセンブルグ、マルタ、モナコ、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、ポーランド、ポルトガル、ルーマニア、南アフリカ、スペイン、スウェーデン、スイス、ソ連、英国、米国、ユーゴスラビア

\* システム技術研究所所長 〒101 東京都千代田区猿樂町1-7-1 ビラベンシル5F

表2 先進国と開発途上国の都市・農村人口分布

	人口	2000年における 予測人口	都市 人口	農村 人口	都市人口 比率
全世界	3,938	6,205	1,494	2,241	40%
先進国	1,118	1,358	741	377	66%
開発途上国	2,820	4,846	752	1,864	29%
単位	10 <sup>6</sup> 人	10 <sup>6</sup> 人	10 <sup>6</sup> 人	10 <sup>6</sup> 人	%

薪や木炭の一部が販売され、農村の薪が都市へ運ばれて商業的に取り引きされているのが現状である。都市と農村の格差は決定的であり、しばしば「ひとつの国の中にインドとベルギーがある」と言われるように、開発途上国の問題を考える場合の重要な点である。農村におけるエネルギー資源の重要な部分は森林から供給されているが、最近では森林の減少の結果として、薪を集めるために数～20kmの距離を歩かねばならず(これは女性と子供の仕事になっている)、そのために労働時間を奪われるような事態も生じている。森林の減少は、農村における生態系の回復しがたい破壊となり、「もうひとつのエネルギー危機」と呼ばれている<sup>3),4)</sup>。さらに、開発途上国のエネルギー利用の実態をみると、エネルギー利用効率が低く、エネルギーが提供するサービスが低質なものに終わっていることがあげられる。料理用のかまどは粗末で効率が低く、さらに薪や灯油を照明用に利用している地域も大きい。以上のように開発途上国のエネルギー問題は、先進国のそれとは大きく異っている。

## 2. エネルギー消費量

世界各国のひとりあたりエネルギー消費量は、生活水準ないし経済発展段階と強い関係があり、GNPとの相関モデルがよく引き合いに出される。しかしながら、これは主として商業的エネルギーに関しての議論であり(それしか統計がなかった)、前述したような開発途上国におけるエネルギー状況を考慮すると別の形になってくる。表3は、国連エネルギー統計によるひとりあたり商業的エネルギー消費量である<sup>2)</sup>。先進国におけるひとりあたりエネルギー消費量は3,000～11,000kg石炭換算/年であるが、ここでは、30, 100, 200, 500, 500～2000kg石炭換算/年のグループに類別してみた。実際上の見地からよく検討してみると、ひとりあたり年間30kg石炭換算のエネルギーでは食事をすることもむずかしく、ひとりあたり商業的エネルギー消費が

表3 ひとりあたり商業的エネルギー需要(石炭換算kg/年)

×<30		IVORY COAST	155
BUHTAN	3	PARAGUAY	159
NEPAL (*)	11	MORITANIA	169
BRUNDI (*)	18	TONGA	182
RWANDA	18	INDIA (*)	199
CHAD	22		
UGANDA	23	200<×	500
ETHIOPIA (*)	26	NIGERIA (*)	220
MALI (*)	27	PAKISTAN (*)	221
		HONDURAS (*)	237
		INDONESIA (*)	242
		MAURTIUS	301
30<×<100	40	THAILAND (*)	333
CENTRAL AFRICA	43	PHILIPINE (*)	353
BENIN	43	ZANBIA (*)	373
MALDIVES	45	DOMINICA	454
BANGLADISH(*)	46		
TANZANIA (*)	48	×>500	
AFGANISTAN	56	EGYPT	516
MADAGASCAL	67	ZIMBABWE (*)	552
LAOS	68	FIJI	569
ZAIRE	74	CHINA	578
GUINIA (*)	81	COSTA RICA (*)	591
SIERA LEONE(*)	87	PERU (*)	595
CAMEROON (*)	87	IRAQ	595
		TUNISIA (*)	662
100<×<200	109	TURKEY	702
SRI LANKA (*)	109	BRASIL (*)	757
GHANA	117	CHILE (*)	925
GAMBIA	121	PORTUGAL	1250
KENYA (*)	129	MEXICO (*)	1687
TOGO	130	ARGENTINE(*)	1718
ANGOLA	141		

(\*) なんらかのエネルギー統計および分析報告を入手した国

いさい国では、これらの数値は単にエネルギー流通の程度を示すものであって、非商業的エネルギーの消費が圧倒的に大きいことが予想される。

最近、国連ではいくつかの開発途上国について、伝統的エネルギー消費を含むエネルギーバランス表を発表するようになった<sup>5),6)</sup>。このデータと関連する諸統計の数値を組み合わせると表4を作成した。

ここから以下の各項を知ることができる。

- (1) ひとりあたりエネルギー消費量は、最低水準でも5～7GJ/人・年であり、前述の商業的エネルギーのみの水準よりもかなり大きなところにある。(7GJ≒250kg石炭換算)
- (2) ひとりあたりエネルギー消費量の小さな国の多くは、農村人口割合が大きく、伝統的エネルギーを民生部門で消費している。
- (3) ひとりあたりエネルギー消費量が大きくなって農村におけるひとりあたり伝統的エネルギー消費量はそれほど大きくなり、20～30GJ/人・年の水準にとどまっている。
- (4) 伝統的エネルギー消費量が小さく、農村人口割合が大きな国が存在する。これらの国では農村においても石油等を利用している。(例、モロッコ、ボリビア、エジプトなど)

もちろん、表3には表4に含まれない国々があり、表4のみから全体を論ずるのは困難であるが、ひとりあたりの最低限の必要エネルギー量があり、統計のない国についてもこの点については同様と推定される。

この最低限の必要エネルギーは主として料理用のものであり、深刻な栄養不足人口が4～5億人あると推定されていることを考えに入れると、平均値として計算された最低限の必要エネルギー量は「生存の水準以下」

表4 開発途上国のエネルギー消費(1)

国名	人口 (千人)	農村 人口(%)	面積 (km <sup>2</sup> )	人口 密度	(人/km <sup>2</sup> ) (TJ) (TJ)		一次E 供給	最終需 要FE	産業E (%)	運輸E (%)	民生E (%)
Bangladesh	88,656	91	143,998	615.68	618,385	557,541	6.35	2.60	91.06		
Niger	5,318	92	1,267,000	4.20	40,694	38,809	5.34	10.01	84.65		
Nepal	14,010	96	140,797	99.51	143,396	140,917	2.58	0.51	96.92		
Sri Lanka	14,738	78	65,610	224.63	157,329	122,496	26.86	19.03	54.11		
Morocco	20,242	63	446,550	45.33	224,018	154,436	33.81	25.19	41.01		
Pakistan	81,451	74	803,943	101.31	915,941	636,122	33.45	19.89	46.66		
India	663,596	80	3,287,590	201.85	7,678,960	5,598,210	38.73	14.82	46.44		
Malawi	5,968	96	118,484	50.37	74,765	70,137	36.44	5.36	58.20		
Indonesia	148,033	82	2,027,090	73.03	2,309,140	2,071,920	20.70	16.68	62.63		
Bolivia	5,600	65	1,098,580	5.10	92,581	62,677	25.26	40.15	34.59		
Ivory Coast	8,034	72	322,463	24.91	135,872	115,882	11.61	25.06	63.33		
Nigeria	74,082	84	923,768	80.20	1,290,620	1,191,850	21.59	10.33	68.08		
El Salvador	4,748	61	21,041	225.66	85,763	71,501	20.30	15.88	63.82		
Philippines	48,400	68	300,000	161.33	886,128	679,803	29.16	9.88	60.97		
Egypt	42,201	57	1,001,450	42.14	851,466	490,826	57.28	22.53	20.19		
Kenya	16,466	90	582,646	28.26	347,356	325,589	6.29	8.11	85.60		
Thailand	47,173	87	514,000	91.78	1,006,940	862,690	21.80	20.80	57.40		
Honduras	3,691	72	112,088	32.93	79,917	68,292	24.51	14.12	61.37		
Solomon Islands(*)	229	~	28,446	8.05	5,593	3,348	15.65	28.20	56.15		
Jordan	3,244	57	97,740	33.19	79,940	60,835	24.47	47.06	28.47		
Tunisia	6,369	60	163,610	38.93	157,403	123,655	32.34	33.10	34.56		
Nicaragua	2,733	51	130,000	21.02	70,160	49,129	25.06	20.29	54.65		
Papua New Guinea	3,154	89	461,691	6.83	85,378	74,296	17.45	14.51	68.04		
Zimbabwe(*)	7,360	~	390,580	18.84	210,693	159,800	36.82	14.30	48.88		
Peru	17,780	40	1,285,220	13.83	514,810	374,985	33.74	29.11	37.15		
Fiji	631	67	18,274	34.53	21,924	11,705	25.92	44.13	29.95		
Zambia	5,834	66	752,614	7.75	210,813	120,983	37.28	13.04	49.67		
Costa Rica	2,245	59	50,700	44.28	81,386	55,983	12.79	32.57	54.64		
Colombia	27,093	36	1,138,910	23.79	1,047,620	652,883	36.71	27.96	35.20		
Ecuador	8,354	61	283,561	29.46	327,188	212,302	17.16	40.89	41.94		
Chile	11,104	24	756,945	14.67	439,215	287,920	26.30	35.68	38.03		
Panama	1,837	51	77,082	23.83	78,860	55,287	24.51	29.52	45.97		
Barbados	263	96	431	610.21	11,931	8,176	45.33	40.41	14.26		
Uruguay	2,899	20	176,215	16.45	143,475	72,069	29.95	32.57	37.48		
Jamaica	2,188	63	10,991	199.07	108,558	91,687	76.59	15.25	8.16		
Brazil	123,032	42	8,511,970	14.45	6,110,690	3,886,780	35.64	26.79	37.57		
Korea	38,124	59	98,484	387.11	1,936,470	1,444,500	41.19	17.43	41.39		
Hong Kong	5,068	10	1,045	4849.76	263,319	141,526	50.24	17.28	32.48		
Cyprus	629	57	9,251	67.99	36,860	23,694	40.69	38.40	20.92		
Argentina	27,064	19	2,766,890	9.78	1,843,460	1,229,590	33.47	34.93	31.63		
Israel	3,871	14	20,770	186.38	300,659	172,382	33.30	30.85	35.85		
Gabon	548	83	267,667	2.05	53,981	45,702	48.05	4.91	47.04		
Saudi Arabia	8,960	82	2,149,690	4.17	1,082,310	640,833	53.16	33.35	13.49		
Venezuela	13,913	25	912,050	15.25	1,737,720	897,518	40.41	44.05	15.55		
Trinidad and Tobago	1,168	88	5,130	227.68	238,831	93,859	47.79	44.94	7.27		
Singapore	2,391	0	581	4115.32	507,749	263,525	66.11	7.66	26.23		
Kuwait	1,356	78	17,818	76.10	293,688	82,108	3.13	57.24	39.63		
Qatar(*)	237	~	11,000	21.55	215,262	80,371	75.30	18.49	6.21		

(\*) 農村人口比率不明。

E: エネルギー消費 FE: 最終エネルギー消費 TE: 伝統的エネルギー消費 (1982年)

表4 開発途上国のエネルギー消費(2)  
(GJ/人) (GJ/人) (GJ/人) (GJ/人) (%) (%) (%) (GJ/人)

国名	ひとりあたり E	ひとりあたり FE	ひとりあたり TE	農村ひとり あたり TE	TE/一次E	民生TE/ TE	TE/民生E	ひとり あたり 民生E
Bangladesh	6.98	6.29	5.42	5.96	77.71	99.01	93.71	5.73
Niger	7.65	7.30	6.05	6.58	79.12	100.00	98.00	6.18
Nepal	10.24	10.06	9.66	10.07	94.41	99.63	98.76	9.75
Sri Lanka	10.68	8.31	4.95	6.34	46.35	74.38	81.83	4.50
Morocco	11.07	7.63	0.52	0.83	4.70	100.00	16.63	3.13
Pakistan	11.25	7.81	2.45	3.31	21.81	87.90	59.16	3.64
India	11.57	8.44	3.42	4.27	29.51	89.83	78.30	3.92
Malawi	12.53	11.75	10.40	10.83	83.00	63.39	96.37	6.84
Indonesia	15.60	14.00	7.68	9.37	49.25	96.49	84.57	8.77
Bolivia	16.53	11.19	2.91	4.47	17.57	64.73	48.57	3.87
Ivory Coast	16.91	14.42	8.99	12.49	53.19	94.01	92.58	9.13
Nigeria	17.42	16.09	10.01	11.91	57.43	99.93	91.28	10.95
El Salvador	18.06	15.06	9.84	16.13	54.47	86.93	88.98	9.61
Philippines	18.31	14.05	7.01	10.31	38.30	79.91	65.43	8.56
Egypt	20.18	11.63	0.80	1.40	3.96	0.00	0.00	2.35
Kenya	21.10	19.77	16.36	18.18	77.57	99.22	95.91	16.93
Thailand	21.35	18.29	10.04	11.54	47.02	83.96	80.27	10.50
Honduras	21.65	18.50	12.35	17.16	57.06	79.24	86.22	11.35
Solomon Islands	24.42	14.62	16.02	~	65.58	48.20	94.04	8.21
Jordan	24.64	18.75	0.02	0.03	0.07	0.00	0.00	5.34
Tunisia	24.71	19.42	3.86	6.43	15.61	100.00	57.49	6.71
Nicaragua	25.67	17.98	13.76	26.99	53.61	58.67	82.20	9.82
Papua New Guinea	27.07	23.56	17.82	20.02	65.83	86.56	96.23	16.03
Zimbabwe	28.63	21.71	8.88	~	31.04	82.52	69.08	10.61
Peru	28.95	21.09	4.50	11.25	15.54	79.54	45.67	7.83
Fiji	34.74	18.55	17.19	25.66	49.48	22.06	68.25	5.56
Zambia	36.14	20.74	9.24	14.00	25.58	94.54	84.83	10.30
Costa Rica	36.25	24.94	8.62	14.61	23.77	74.78	47.29	13.63
Colombia	38.67	24.10	6.14	17.06	15.88	80.06	57.97	8.48
Ecuador	39.17	25.41	7.27	11.91	18.55	89.80	61.21	10.66
Chile	39.55	25.93	5.10	21.26	12.90	98.53	50.99	9.86
Panama	42.93	30.10	12.36	24.23	28.79	70.70	63.15	13.84
Barbados	45.37	31.09	8.43	8.78	18.57	0.00	0.00	4.43
Uruguay	49.49	24.86	5.67	28.36	11.46	57.80	35.18	9.32
Jamaica	49.62	41.90	2.33	3.71	4.71	2.49	1.70	3.42
Brazil	49.67	31.59	16.15	38.44	32.51	48.96	66.60	11.87
Korea	50.79	37.89	1.78	3.01	3.50	100.00	11.33	15.68
Hong Kong	51.96	27.93	0.46	4.61	0.89	100.00	5.08	9.07
Cyprus	58.60	37.67	0.39	0.68	0.66	100.00	4.92	7.88
Argentina	68.11	45.43	3.84	20.22	5.64	62.15	16.61	14.37
Israel	77.67	44.53	0.05	0.34	0.06	100.00	0.30	15.96
Gabon	98.51	83.40	22.47	27.08	22.81	96.93	55.52	39.23
Saudi Arabia	120.79	71.52	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	9.65
Venezuela	124.90	64.51	1.14	4.57	0.91	39.48	4.49	10.03
Trinidad and Tobago	204.48	80.36	1.89	2.15	0.92	9.74	3.15	5.85
Singapore	212.36	110.22	0.16	0	0.07	100.00	0.55	28.91
Kuwait	216.58	60.55	0.08	0.11	0.04	0.00	0.00	24.00
Qatar	908.28	339.12	0.29	~	0.03	85.29	1.16	21.06

E : エネルギー消費 FE : 最終エネルギー消費 TE : 伝統的エネルギー消費 (1982年)

ということになる。

最終エネルギー需要の構成は、産業、運輸、民生に区分し、伝統的エネルギーの消費量が一次エネルギー供給に占める割合、民生部門需要に占める割合等を示

してある。これによると、民生部門需要がきわめて大きな割合を占めている国がある一方で、運輸部門需要が大きな割合になっている国がある。前者は伝統的エネルギー消費が大きく、後者は石油の消費が大きい。

表5 開発途上国のエネルギー需給構造(1980)  
(構成比を%で示す)

国名: エチオピア

	石炭	バイオマス	石油	ガス	電力	合計
産業		0.71	1.08		0.6	2.38
輸送			2.69			3.12
民生・農業		92.65	1.17		0.35	94.20
計		93.36	4.94		0.95	100.0

国名: ネパール

	石炭	バイオマス	石油	ガス	電力	合計
産業	1.0	0.64	0.20		0.13	2.0
輸送			2.1			2.1
民生・農業	0.1	93.9	0.94		0.26	95.9
計	1.1	94.9	3.6		0.4	100.0

国名: タンザニア

	石炭	バイオマス	石油	ガス	電力	合計
産業		16.7	3.76		1.54	22.0
輸送			4.3			4.3
民生・農業		71.7	1.1		0.81	73.6
計		88.4	9.2		2.35	100.0

国名: ナイジェリア

	石炭	バイオマス	石油	ガス	電力	合計
産業	0.57				0.96	1.53
輸送			18.0			18.0
民生・農業		76.5	1.98	0.05	1.93	80.46
計	0.57	76.5	19.98	0.05	2.89	100.0

国名: コスタリカ

	石炭	バイオマス	石油	ガス	電力	合計
産業		10.0			5.2	15.2
輸送			32.3			32.3
民生・農業		26.1	18.7		7.7	52.5
計		36.1	51.0		12.9	100.0

国名: インド

	石炭	バイオマス	石油	ガス	電力	合計
産業	24.9	2.2	3.3	0.9	3.9	35.3
輸送	5.3		9.5		0.16	14.9
民生・農業	1.3	39.6	5.9	0.4	2.2	49.7
計	31.5	41.8	18.9	1.3	6.3	100.0

表6 都市と農村における基本的必要を満たすためのエネルギー (MJ/日)

最終用途	熱帯地域		温暖地域		寒冷地域	
	農村	都市	農村	都市	農村	都市
照明	1.9	4.9	2.3	6.2	2.7	9.9
暖房	—	—	25.1	7.4	94.1	29.7
冷房	0.8	1.3	0.3	0.6	—	—
食糧保存	3.8	4.4	2.9	3.1	—	—
料理	21.8	6.2	26.2	7.4	32.7	9.3
揚水	0.2	—	0.2	—	0.1	—
温水	7.1	3.7	13.5	7.4	21.2	11.1
リクレーション他	3.0	3.1	3.0	3.1	3.8	4.9
合計(MJ/日)	38.6	23.6	73.7	35.2	154.6	64.9
(W)	447	273	853	407	1789	751

平均気温によって地域を区分した。  
(熱帯25°C, 温暖地域18°C, 寒冷地10°C)

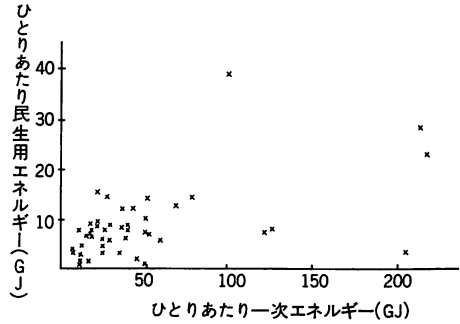


図-1 ひとりあたり民生用エネルギーの変化

いくつかの国のエネルギー需給構造の例を表5に示す<sup>5),7)</sup>。需要と供給のパターンからみると、伝統的エネルギー消費の割合が大きな状態から経済開発が進行してゆくに連れ、産業、運輸のエネルギー消費が拡大してゆき、商業的エネルギーの導入が増加して、ひとりあたりエネルギー消費が増大してゆくのは当然であるが、ひとりあたりの民生用需要はそれ程急激に拡大してゆくわけではない。この関係を図-1に示した。表6には都市と農村における基本的必要を満たすための現状のエネルギー消費量を示す<sup>7),14)</sup>。先進国のエネル

表7 1kwシナリオ, 1975年の日本とヨーロッパの生活水準に必要なひとりあたりエネルギー消費量 (単位: W)

最終用途	電力 (W)	燃料 (W)	計	備考
民生				
料理	14.5	49		世帯人数4人 COP=3のヒートポンプ 315ℓ, 2ドア475KWH/年 5灯×4時間/日 テレビカラー4時間/日 洗濯機1回/日
温水	13.5			
冷蔵/冷凍	3.8			
照明	3.1			
テレビ	2.1			
洗濯機	37	49	86	
小計				
商業	22	—	22	
輸送				
自動車		146		33km/ℓ, 15,000km/年 345人・km/capita 1,495t・km/capita 814t・km/capita
航空		21		
トラック		32		
鉄道	5			
船舶		50		
小計	10	249	259	
製造業				
鉄	28	77		320kg/capita 479kg/capita 9.7kg/capita 106kg/capita 26kg/capita
鋼	6	54		
セメント	11	26		
アルミ	11	24		
紙	36	36		
化学肥料	65	212		
その他	121	429	550	
小計				
農業・鉱業・建設		100	100	
合計	185	827	1,012	

(温暖地域, 暖房需要を除く, 既知の最良の技術を採用した場合)

ギー消費量は効率の向上により激減できる可能性があり、R. Williamsは1kwシナリオが、現状の開発途上国のエネルギー消費量と同程度であることを示している(表7)<sup>14)</sup>。すなわち効率向上の余地がきわめて大きい。

3. 再生可能エネルギー

開発途上国の中で石油産出国と石油輸入国とでは、エネルギー政策は大きく異なってくるが、石油輸入国においては国内の再生可能エネルギーに対する期待が大きくなる。先進国では太陽エネルギー利用の可能な地域として低緯度地域の開発途上国を実験地として、太陽電池プロジェクト等をすすめている。表1、8~11には太陽エネルギーやバイオマスのポテンシャルを示した<sup>1)</sup>。興味深い点は、開発途上国では太陽放射が大きく先進国の2倍程度になるが、人口ひとりあたりで比較すると逆に、農業廃棄物、動物の糞、森林面積もひとりあたりでみると先進国の方が豊かである。逆に考えると、地球規模の資源を人口ひとりあたりで見ると開発途上国に大きな貯蔵庫が残されていないということになろう。太陽電池、風力発電、太陽熱コレクター、メタン発酵、木炭製造技術などは、前述の森林の減少を防止するために有効であるが<sup>8)</sup>、導入

表10 バイオマスエネルギーの可能性

	ひとりあたり 二次 エネルギー	ひとり あたり 電力 消費	A ひとり あたり 農業廃 棄物エ ネルギー	B ひとり あたり 糞エネ ルギー	バイオ マス A+B	農 村 地域に おける A+B
全世界	63.7	1632	8.24	8.06	16.3	28.6
先進国	139.0	6429	14.5	10.8	25.3	74.8
開発途上国	33.3	245	5.74	6.96	12.7	19.2
単 位	10 <sup>9</sup> ジュール 年	KWH/年	10 <sup>9</sup> ジュール 年	10 <sup>9</sup> ジュール 年	10 <sup>9</sup> ジュール 年	10 <sup>9</sup> ジュール 年

表11 森林面積、耕作面積

	国土 面積	森林 面積	森林 の割合	木材 産出	ひとり あたり 森林 面積	耕作 面積	かん がい 面積
全世界	12900	4130	32	2430	1.04	1505	227
先進国	5480	1870	34	1170	1.67	694	49.4
開発途上国	7420	2260	30	1260	0.80	811	177.6
単 位	10 <sup>6</sup> ha	10 <sup>6</sup> ha	(%)	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	ha/人	10 <sup>6</sup> ha	10 <sup>6</sup> ha

にあたっての問題も少なくない。資金、人材そして時間のファクターが重要である。それにも増して必要なのは、人々の資源や環境についての知識であり、教育の重要性があらためて指摘されている。

4. 森林の問題

地球上の森林面積は約4×10<sup>9</sup>haであり、これは陸地面積の約30%を占めている。この森林面積の減少傾向は広く知られているが、毎年5.6×10<sup>6</sup>ha(熱帯アメリカ)、3.7×10<sup>6</sup>ha(熱帯アフリカ)、2×10<sup>6</sup>ha(熱帯アジア)の減少と推定されている。森林の減少の主たる理由は、(1)農地への転換 (2)薪として利用 (3)木材の輸出といわれている。記録されている木材利用量は開発途上国全体で1.8×10<sup>9</sup>m<sup>3</sup>/年であり、このうち80%が建築資材や燃料となり、20%が輸出に向けられている<sup>9)</sup>。

アフリカの調査によると、ひとりあたり1日の薪の消費量は、2~3kg<sup>10)</sup>と推定されている。タンザニアのケースでは、ひとり年間2.2m<sup>3</sup>(680W)と推定され、これは2.5kg/日に相当する<sup>11)</sup>。1980年のタンザニアにおける森林の消費は、50%が再生可能な形態(成長のみを消費)であったが残りは森林の減少を招いていると推定されている。タンザニアでは、森林からのエネルギー供給が全エネルギー供給の90%を担っているが、国土面積に占める森林面積の割合は、1930年代の50%から現在では15%へと低下してしまっている。この数

表8 先進国と開発途上国の農業廃棄物エネルギーの潜在量

	大 麦		根 菜 いも類		さとうきび		てんさい (砂糖大根)	
	生産 量	廃棄物 エネルギー	生産 量	廃棄物 エネルギー	生産 量	廃棄物 エネルギー	生産 量	廃棄物 エネルギー
全世界	155	6.17	562	1.17	633	3.76	250	0.74
先進国	116	4.67	229	0.48	68.4	0.4	224	0.67
開発途上国	39	1.57	333	0.69	564	3.36	26	0.07
単 位	10 <sup>6</sup> ジュール 年	10 <sup>18</sup> トン	10 <sup>6</sup> ジュール 年	10 <sup>18</sup> トン	10 <sup>6</sup> ジュール 年	10 <sup>18</sup> トン	10 <sup>6</sup> ジュール 年	10 <sup>18</sup> トン

表9 先進国と開発途上国の糞エネルギー

	牛、水牛		馬、ろば、 らくだ		豚		羊・やぎ	
	頭数	糞エ ネルギー	頭数	糞エ ネルギー	頭数	糞エ ネルギー	頭数	糞エ ネルギー
全世界	1330	22.6	135	1.09	673	2.73	1440	4.59
先進国	452	8.43	26.4	0.21	303	0.85	553	2.22
開発途上国	878	14.17	108.6	0.88	370	1.88	887	2.37
単 位	10 <sup>6</sup> 頭	10 <sup>18</sup> ジュール 年	10 <sup>6</sup> 頭	10 <sup>18</sup> ジュール 年	10 <sup>6</sup> 頭	10 <sup>18</sup> ジュール 年	10 <sup>6</sup> 頭	10 <sup>18</sup> ジュール 年

値はエチオピアでは5%以下と報告されている<sup>7)</sup>。このように森林の減少速度は極めて急速であり、植林を急速に増大させて森林面積を回復しなければ、生態系の維持は困難な状態になっている。

5. 料理用のエネルギー

前述したように開発途上国における最低限必要なエネルギー消費は、6GJ/人・年(188W/人)程度であり、その最終用途は料理、温水、暖房、照明であるが、80%程度が料理用と推定される。料理に用いられているかまどはスリー・ストーン・ファイヤーや簡単な効率の悪い機器で、実験的計測によるとその熱効率率は5~10%である<sup>7)</sup>。日本における家庭用のガスコンロの熱効率率は45~50%、湯沸器は75%である<sup>12)</sup>。表12は、昭和28年の日本における料理用エネルギー消費量との比較を示している。昭和28年ごろには、日本においても非商業的エネルギーが使われていたと考えられるが、この数値は商業的エネルギーを示している。昭和58年の場合には、加工食品や電気冷蔵庫を考慮する必要があり、ひとりあたり料理用エネルギーは、昭和28年当時の2.4倍になっているが、年間6GJ程度であり、これは開発途上国における最低限必要なエネルギーと同程度の水準である。したがって、この最低限必要と見られるエネルギー消費は、効率の向上によってかなり小さくできる可能性がある。実際、いくつかの改良されたかまどによる実験は、効率を3~5倍にできることを示している<sup>7)</sup>。このようなかまどの普及上の障害は、①薪の採集は女性や子供の仕事であり家長がかまどの改善に無関心、②費用がかかる、③伝統的なかま

表12 料理用エネルギーの比較

	日 本		開発途上国における最低限必要なエネルギー
	1953(S.28)	1983(S.58)	
エネルギー消費	(10 <sup>10</sup> kcal)	(10 <sup>10</sup> kcal)	
都市ガス	559	4,400	
木炭	1,512	—	
薪	2,997	—	
電力	—	6,500	
小計	5,068	—	
食品加工	—	6,200	
合計	5,068	17,100	
人口	8,700万人	12,000万人	
ひとりあたり摂取熱量(Kcal/日)	2,100	2,800	2,180
ひとりあたり料理用エネルギー/年	583×10 <sup>3</sup> (2.44GJ)	1,425×10 <sup>3</sup> (5.95GJ)	1,435×10 <sup>3</sup> (6GJ)

どは家族が夜に集まりコミュニケーションする場所になっていたり、そこからでる煙が害虫を殺す副次的効果を持っている、等の点である<sup>4),9)</sup>。

かまどの改良は、薪の消費の低減そして森林資源の保護につながる重要な対策であるが、それだけでは森林の減少に対抗するには充分ではなく、植林の速度を上げてゆくことが同時に必要である<sup>7),10)</sup>。

6. エネルギー計画

さて、以上のような現実からどのようなエネルギー政策が考えられるであろうか。多くの開発途上国の場合、優先的に行うべきエネルギー政策は次のようになってくる<sup>8),9),13),14)</sup>。

- (1)森林の保護、植林
- (2)効率のよいエネルギー機器の普及(都市、運輸部門)
- (3)改良したかまどの普及
- (4)農村地域の開発と結びついたエネルギー開発
- (5)都市と農村を結ぶ輸送(鉄道など)の充実
- (6)水力発電の開発

もちろん、国内に石油・石炭・天然ガスのような資源があればこれを開発利用し、長期的には再生可能なエネルギー開発への橋わたしにすることも重要である。重要なのは、エネルギー最終需要に注目し、エネル

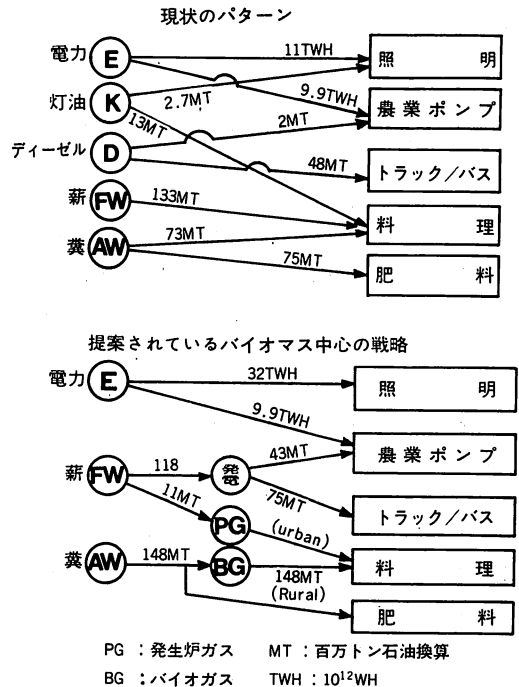


図-2 インドにおけるバイオマスを中心にしたエネルギー戦略

表13 Bundilya村のエネルギー計画

		現 状	短 期 的 改 善	長期的計画 (20~30年)
改善の方法		人口 1350	人口は同じ。 耕地の拡大 (200→260ha)。 去勢牛による耕作。 畜糞と農作物の残渣を耕地に戻して生産性を40%向上させる。 牛をへらす (1915→1000頭) これにより牛乳生産の向上。 羊と山羊をへらす (810→400頭) 家畜1頭あたり重量を20~30%向上させる。 木炭生産の効率向上 (25→50%) かまどの効率を2倍に向上。	人口増大 (1,350→2,700) 耕地の拡大 (→500ha) 化学肥料(輸入)の利用 かんがい(バイオフェル・ポンプ)の導入による2毛作。トラクターの導入 放牧地の拡大。高たんぱく飼料の導入。牛の重量増大(30~50%)。羊と山羊をへらす(→200頭)。 森林を再生産可能な範囲で利用し、薪を150W、これより木炭を75W得る。 アルコールとバイオガスを70W得る。
農業生産(噸)	農産物生産	48	87	167
	家畜用飼料	745	500	250
	牛乳・ミルク・肉	18	12	20
	魚	15	15	15
エネルギー消費(W/人)	農 業			
	耕作(人力)	30(2)	50(4)	トラクター、ポンプ(バイオフェル)45(40)
	魚のくん製(薪)	90(9)	50(9)	冷蔵庫(電力) 30(25)
	産業(ビール生産etc)	60(10)	75(15)	かまど、バイオフェル 100(80)
	民 生			
	料理(薪)	310(30)	160(30)	} 燃料・動力 100(60)
	(木炭)	40(8)	20(8)	
	温 水(薪)	60(6)	30(6)	
	照 明(灯油)	5(1)	5(1)	
	公 共			
学 校(木炭)	10(2)	5(2)	燃料・動力 10(5)	
照明・害虫駆除(薪)	90(5)	50(5)		
交 通		—	バイオフェル 40(25)	
合計エネルギー消費(W/人)		695(73)	445(80)	350(245)

( )内は正味のエネルギー(W/人)を示す。

ギーの質と量に適合した供給システムを開発してゆくことである。インド科学院のA.K.N.レディは、現状のエネルギー需給パターンを分析して、インドのエネルギーシステムを以下のように開発することを提案している<sup>13)</sup>。まず第一に現在、農村では照明需要の88%は灯油であり、これを電化し、すべての住居に照明用電力を供給して全体の効率を上げる。また料理用のエネルギーとして都市では70%が薪、農村では動物の糞を直接利用している。これを、都市では薪からガスをつくり、農村では糞からバイオガスを作りその残渣を肥料にする。次に交通機関用のディーゼル油を木材からメタノールに代替する。また鉄道の割合を増加させこれには電力の増大をはかる。輸送、料理、照明の用途に利用されている石油を、国内産のバイオマスを中心にした効率の高いエネルギーシステムに転換してゆくことによってエネルギーの自給を目指すというものである。図-2には、この関係を簡単に示した。短期間にこのような戦略を実現することは困難であるが目

指すべき方向を理論的に示す点でこのような分析は重要である。

タンザニアのBundilya村で詳細なエネルギー分析を行ったS.R.Nkonokiらは、使用するエネルギー源を目的に合わせて選び、同時に効率の向上をはかり、表13に示すような短期的改善案と長期的計画を作製している<sup>11)</sup>。数字はひとりあたりのエネルギーフロー(W)である。( )内に正味のエネルギーを示してある。見かけ上のエネルギー消費を半減させつつ、正味のエネルギーを3.3倍に引き上げることを想定している。これには農業の機械化、バイオガス・プラントの建設などを村レベルでの産業振興と合わせて行う必要がある。

以上の例は、各々に固有の現状のエネルギー需要と入手し得る資源についての考察から導びかれたものであり、その結果は一般的にどの国へも適用できるものではない。しかしながら、開発途上国のエネルギーの将来について考えるのに示唆に富んでいる。



## 7. おわりに

開発途上国のエネルギー問題は、先進国のエネルギー問題とは様子が異なっているが、地球上での化石燃料の温存と環境の保護の点から考えてゆけば、エネルギー利用効率を向上させ、再生可能な国内資源の開発という点で、長期的には基本的に同じ戦略をとることが可能である。機会があれば、各々の国におけるエネルギー戦略の比較を試みたいと考えている。なお資料の入手に関しては、プリンストン大学エネルギーと環境グループの主催する「End Use Focused Global Energy Workshop」(プリンストン大学, 1982. サンパウロ・エネルギー公社, 1984)に参加する機会を得て、各国からのエネルギー分析レポートに触れ、親しくエネルギー分析者たちと情報交換することから多くの知見を得ることができた。なおデータの整理について吉国誠史君の協力を得た。ここに記して感謝する。

## 引用文献

- 1) T. B. Tayler, et al, Worldwide Data Related To Potentials for Widescale Use of Renewable Energy, Princeton University, March 1982.
- 2) 国際連合エネルギー統計年鑑, 世界統計年鑑 1981. 原書房.
- 3) NHKラジオ日本取材班「もうひとつのエネルギー危機」1984. 日本放送出版協会.
- 4) T. Hoffman, World Energy Triangle, 1982. Ballinger.
- 5) United Nations, Energy Balance 1977-1980 and Electricity Profiles 1976-1981. for Selected Developing Countries and Areas. New York. 1983.
- 6) United Nations, Energy Balances and Electricity Profiles 1982. New York. 1985.
- 7) Country Reports Presented to End Use Focused Global Energy Workshop. 1982, 1984. 報告された国は, Siera Lone, Brundi, Mali, Zambia, Nigeria, Zimbabwe, Nepal, Pakistan, Tanzania, Cameroon, Ethiopia, Honduros, Costa Rica, Mexico, Peru, Chile, Brasil, France, West Germany, India, Sweden, Italy, USA, Japan 他である.
- 8) H. Tsuchiya, Solar Technology Transfer—Japan's Possibilities, Competition and Collaboration in Renewable Energy (1983). International Institute for Environment and Development, Washington, USA.
- 9) H. Tsuchiya, Energy Technology and Policies : Options for Developing Countries, Energy Research Group, International Development Research Center, Ottawa, Canada, 1984.
- 10) Edited by M.J. Mwandosya et al, Energy for Development in Eastern and Southern Africa, Proceeding of Regional Workshop. 1983.
- 11) S. R. Nkonoki et al, A Rural Energy Study in Tanzania. The Case of Bundilya Village, Natural Resource Forum, United Nations, Vol. 8. No. 1. 1984. New York.
- 12) 経済企画庁国民生活編, 省エネルギー生活の推進のために. 1981.
- 13) A.K.N. Reddy, Energy Development in India. A Biomass-based Strategy for Resolving India's Oil Crisis. Princeton University Workshop, 1982.
- 14) J. Godemberg, T. B. Johansson, A. K. N. Reddy and R. Williams, Energy for a Sustainable World. Center for Energy and Environment Studies, Princeton University, New Jersey. USA, 1984.

## 新刊洋書案内

## 80年代以降のエネルギー — 国際エネルギー機構各国による比較研究 —

<原題> Energy After the Eighties  
A Cooperative Study by Countries  
of the International Energy Agency

<編者> G. Tosato, J. Brady, P. Essam,  
M. Finnis, G. Giesen, S. Rath-  
Nagel, H. Vos, D. Wilde

<発行> Elsevier Science Publishers

<体裁> B 5版, xxii + 298ページ

<ISBN> 0-444-42404-0

<価格> Dfl. 195 (約 25,000円)

石油にかわる将来の代替エネルギーについて模索するため、国際エネルギー機構(International Energy Agency)では、加盟各国のエネルギー事情を調査し、エネルギー資源、エネルギーコスト

ならびに新しいエネルギー技術の相互関係について分析した。この共同研究に参加したのは、オーストラリア、オーストリア、ベルギー、西独、アイルランド、イタリア、日本、オランダ、ノールウェ、スペイン、スエーデン、スイス、英国および米国の14か国である。このほか、カナダ、デンマーク、ギリシャおよびECがこの研究を後援している。この分析のために、MARKALと称する計算プログラムが開発され、各国の複雑なエネルギー事情が統一的に解析できた。このようにして得られた、各国別の今後30年間のエネルギー動向についての技術的および経済的予測が、36葉の図と114葉の表にまとめてある。本書はエネルギー研究シリーズの第6巻にあたる。