

# POLICY BRIEF

July 2012

Number 20

## 長期電力シナリオと水利用 — インドのケーススタディ

### 主なメッセージ

- ☎ 特にインドのような水不足が深刻な国では、発電用水の水需要が増加すると、淡水をめぐる部門間の対立が激化すると予測される。これを緩和するには、発電所における水効率の良い技術の導入、発電にかかる水消費量の少ない再生可能エネルギー（風力、太陽光）の推進、大口利用者を対象とした水需要管理などの政策を、適切かつタイミングよく実行する必要がある。
- ☎ インドのような水不足に悩む発展途上国が、現在の電力シナリオの下で経済成長を押し進める場合、水利用の制約が持続可能な開発の大きな障害となる可能性がある。
- ☎ 既存技術の導入を前提としてインド国内の電力部門の中長期予測をもとに発電用の水需要を推定したところ、同国の発電用水需要量は、2050年までに2010年の5倍にまで増加する。発電用の淡水利用がこれほどまでに増加した場合、全水利用量は利用可能な淡水供給能力を超え、2050年までに水の総需要量を満たせなくなると予測される。



ビジョン・クマール・ミトラ  
IGES淡水サブグループ  
特任研究員

b-mitra@iges.or.jp



アニンディヤ・パタチャリヤ  
IGES経済と環境グループ  
主任研究員

bhattacharya@iges.or.jp

## 1 はじめに

エネルギー需要の高まりが水資源をめぐる対立をさらに激化させるのではないかと考えられている。エネルギー政策に関する決定は、将来の水の安全保障を大きく左右する。多くの国で持続可能なエネルギー生産を目指し、炭素削減、コスト、安全保障を重視しつつエネルギー政策が再検討されている(Glassman et al., 2011)。しかし多くの場合、エネルギー政策の中で水の問題が十分に考慮されたことはまだない。近年、水とエネルギーの相互関係が地域・国際レベルで注目されるようになり、増大する水とエネルギー双方の需要がもたらす長期的課題が検討され始めている。水とエネルギーの関連性は、中国、インドを含むアジア新興国などの水資源の乏しい地域で特に重要な意味を持つ。本ポリシー・ブリーフでは、インドを例として、水とエネルギーの相互関係の重要性を長期的な視点で考察する。利用可能な淡水資源量は地球上の全利用可能な淡水量の約4%にすぎず、インドは水が不足している国のひとつである。同国の統合水資源開発のための国家委員会(NCIWRD)(1999)は、現在の需給レベルで利用可能な水は年間わずか1,122 BCM(10億立方メートル)と推定している。また、現在約750 BCMの供給量に対して、水需要が2050年に約1,300 BCMに達し、これがあらゆる開発活動を

停滞させる原因になると予測している。インドの淡水の1人当たりの年間利用可能量は、20世紀初めに8,192 m<sup>3</sup>だったものが、2006年には1,730 m<sup>3</sup>にまで減少している。これは水ストレスと呼ばれる状態(1,700 m<sup>3</sup>)に非常に近い値である。さらに、年間利用可能淡水量は、2030年にはファルケンマーク指標(Falkenmark, 1989)による水不足状態(1,000 m<sup>3</sup>)に大変近い1,240 m<sup>3</sup>にまでさらに減少すると予測されている。

インドは世界における経済発展の中心のひとつであるが、同国の成長は今後、水不足の深刻化という問題に直面すると予想されている。人口増加、工業化、農業における緑の革命、気候変動など水危機が増大する原因は多様だが、エネルギー生産もインドの中長期的な水不足を引き起こす主な原因のひとつと考えられている。インドでは、当面、水の使用量が多い非効率的な方式の石炭火力発電がエネルギー供給ミックスの大半を占める可能性が高く、発電所の水利用技術が適切に進歩しない限り、同国の淡水資源に多大な圧力をかけると考えられている。しかし、現行のエネルギー政策では、水とエネルギーの関連性やそれに伴うトレードオフに十分な注意が払われていない。

## 2 発電使用水量 — 水危機増大の主な懸念要因

インドは世界第5位の発電能力を有しているが、1人当たりの電力消費量(543 KWh/人)は、世界平均(2752 KWh/人)を下回っている(IEA, 2011)。現在最も多くの発電量を占めているのは石炭火力発電(56%)で、水力発電(21%)がそれに続く。火力発電では、選炭機や蒸気冷却装置で特に大量の水を使用する。表1は、米国とインドの発電における水需要量を比較したものである。インドの政府系シンクタンクである科学環境センター(CSE)の推計によれば、インドにおける火力発電の水需要量は平均約80 m<sup>3</sup>/MWhであるが、これは米国(2.53 m<sup>3</sup>/MWh)の約32倍にあたる(DOE, 2006)。インド水資源省は、エネルギー生産のための同国の水需要が2050年には16倍に、飲用水の需要は2倍、灌漑用水の需要は50%上昇すると予測している。インドの主要なエネルギー資源が石炭であることや、将来的なエネルギー供給ポートフォリオを考えると、火力発電の増加に伴い水需要は増加し、今後数十年にわたり発電用水に起因する水不足がさらに深刻化するものと考えられる。水の利用可能性や使用率が地域によって異なるため、地域差はあるものの、国全体の水利用可能量

の問題が電力部門の発展の大きな障害になり、目標とする経済発展に必要なレベルのエネルギー需要を満たせなくなる可能性が大いにある。

図1が示す通り、インドの発電計画は明らかな矛盾をはらんでおり、水利用可能性の問題は深刻なまでに無視されていることが多い。全火力発電設備容量の60%以上が、今後も電力需要が非常に高く推移すると予測される地域にあるが、皮肉にもこれらの地域は全て世界資源研究所(WRI)が定義する「水不足」または「水ストレス」地域でもある。技術的・政治的観点の双方から水不足問題に適切に対処しない限り、発電計画に悪影響が及んだり、発電以外の水需要に問題が生じる恐れがある。重要なのは、政府が試算する年間水利用可能量のある程度安定させることである。現在のエネルギー供給ポートフォリオのもとでは、様々な需要分野の間で水利用の問題が悪化する可能性があり、現に、一部の地域では既に対立が報告されている(ボックス1)。

表1 エネルギー源別の水需要量

エネルギー源	インド (m <sup>3</sup> /MWh)	アメリカ 米国エネルギー省 (DOE) 推計 (m <sup>3</sup> /MWh) (DOE, 2006)
石炭 (亜臨界)	80.0 (CSE) <sup>1</sup>	2.53
天然ガス	3.0 (インド国立環境工学研究所NEERI, 2006)	0.92
原子力	データなし	3.82
太陽光	データなし	0.00
風力	データなし	0.00

<sup>1</sup>「インドの水質、現状及び傾向 (1990-2001)、環境森林省・中央公害規制委員会」の排水量データ及び「州電力庁・電力局に関する年次報告書 (2001-2002)、インド計画委員会」の年間発電量をもとに科学環境センター (CSE) が推計した数値である。

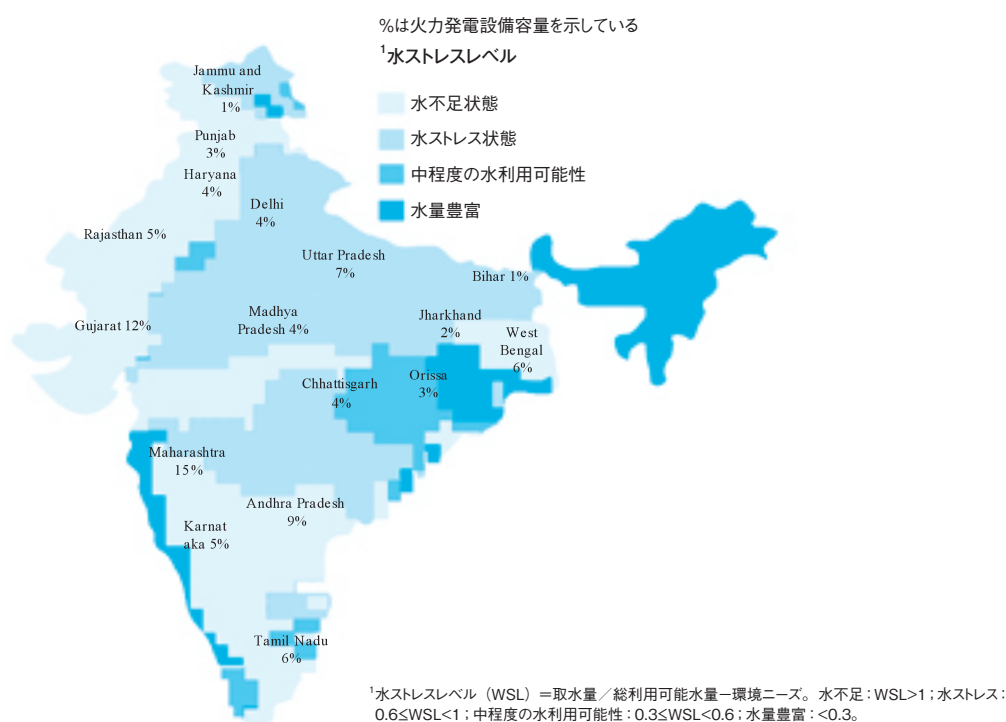


図1 水ストレスレベルの分布 (WRI, 2010) と火力発電設備容量 (CEA, 2011)

### ボックス1 インドにおける水とエネルギーのトレードオフをめぐる対立

1. ナグプール市では、アダニ発電所によって、ベンチトラ保護区だけでなく飲用水や灌漑用水の利用可能性も脅威にさらされるとして、地域住民による反対運動が高まっている (出所: The Times of India, 2011)。
2. ケララ州では、2008年にモンスーン時期の降雨量が例年より65%減少し、水不足に対処するために停電命令が出された (出所: Thaindian News, 2008)。
3. マディヤ・プラデシュ州では、2006年に同地域の水不足を緩和するために停電が実施された (出所: Hindustan Times, 2006)。
4. オリッサ州では、火力発電や工業用水への水配分が増えていることに農家が抗議の声を上げた。州政府は農家の反発を受けて、マハナディ川流域にさらなる負荷をかけないように、冷却水に河川水ではなく海水を使うことを条件に火力発電所の建設に許可を出すことを決定した (出所: UNEP Finance Initiative, 2010)。

### 3 発電の長期シナリオ (2010-2050)

Grover and Chandra(2006)は、現在の経済成長率と、人口増加に伴う工業・商業・農業生産高の拡大を考慮し、2002年から2022年までのインドにおける発電の年間成長率を平均6.3%と推定した。推定されているインドの発電量は、2010年から2050年にかけて驚異的な伸びを示し、2050年までには、2010年レベルの約6倍に相当するおよそ4,900 TWhに達し、年間成長率は5%と見込まれている。その結果、2050年には同国の1人当たり電力消費量は現在の世界平均(2,752 KWh/人)とほぼ同じ2,898 KWhになると予測さ

れる。発電ポートフォリオを見ると、2050年までは石炭火力発電が引き続きインドの電力供給の大半を占めるが、その割合は2010年の66%から2050年には57%に減少する見込みである。対して、天然ガス発電が2050年までに約20%の大幅増となるとともに、再生可能エネルギーの発電割合が将来的に増えると予測されている。図2は、インドにおけるエネルギー源別の発電量の予測とそれに伴う発電用水の需要の増加傾向を示している。

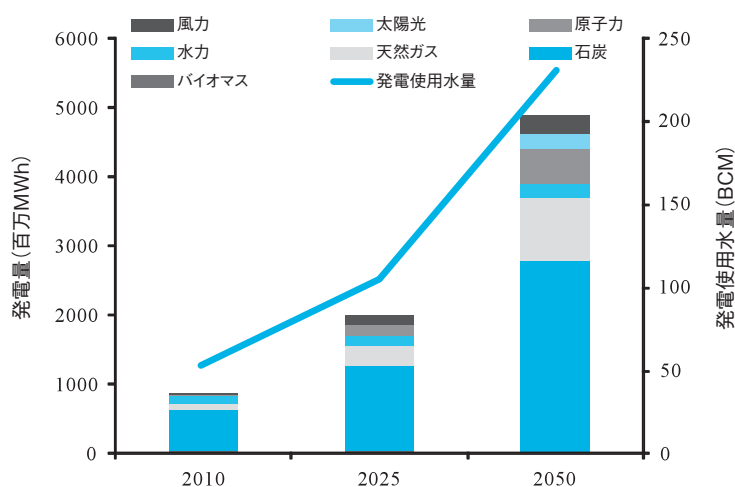


図2 2010年、2025年、2050年の推定発電量と対応する水需要

### 4 インドにおける発電用水

発電用水の取水量に関するデータをインド全国で体系的に収集することができないため、表1に示した様々な情報源から集めたデータをもとに、2050年までのインドにおける発電用水の総需要量を推計した。現行の石炭火力発電技術が採用され続けた場合、2050年には発電用に約227 BCMの淡水が必要になると予測される。これはインドの年間総利用可能水量(1,122 BCM)の約20%に相当する。

図3は、インドにおける発電用水の総需要量と、それが利用可能な水源に与える影響について、複数の試算を比較したものである。NCIWRDは、政府が算定する水需要量に基づいて、2050年の発電用水量を約70 BCMと推定した。これ

は、2050年の総水需要量が総利用可能水量を下回ることを意味する。しかし我々のモデルでは、発電にかかる水需要量が2050年には約227 BCMに達し、年間の総水需給量を満たすためには、およそ100 BCMの水が不足する(年間総利用可能水量を10%上回る)と推計された。このような水利用量の大きな差は、「水の使用量が多い」非効率的な方式の石炭火力発電への高い依存や、低品質な石炭の使用、水を大量に使用する冷却塔技術の採用などによっても左右される。発電用水の水利用可能性については、政府試算よりもはるかに厳しい結果となっており、2050年までに、発電とその他部門を合わせた水需要量が、インドの総利用可能水量を上回ると予測している。

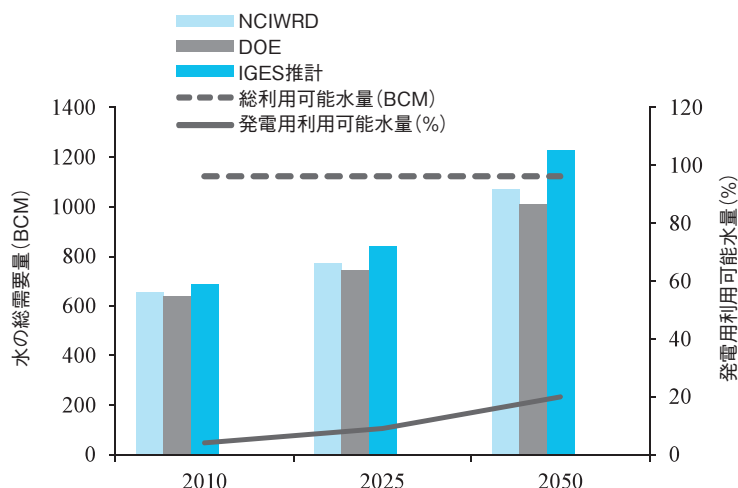


図3 発電用水需要量と総利用可能水量に与える影響の予測

## 5 水利用における複数部門間のトレードオフと水不足の地域差

インドは、2030年までに、水理的、人口学的、気候・環境的理由によって、程度の差はあれ全国的な水不足状態に陥ると予測される。また2050年までに、1人当たりの利用可能な水量(664 m<sup>3</sup>)に135 m<sup>3</sup>の発電用水が追加的に必要になると推計されている。これは、2050年までに1人当たりの発電用水のウォーター・フットプリントが1人当たり水利用可能量の約20%を占めることを意味する。図4は、各部門で必要とされる発電用水量を示したものであるが、発電用水と国内の他の利水、特に農業・家庭部門との間にトレードオフや対立が生じる恐れが見て取れる。図4から、電力需要の増大に伴って家庭・工業部門で水需要が増えることもわかる。同様に農業部門でも、電動の灌漑ポンプなど農業活動の電化普及を主な理由に水需要が増加すると考えられる。インドの年間電化率は6%

を超えると予測されており、将来的に現在利用されている石炭、灯油、石油などにとって代わるものになる。ここで重要なことは、発電によって増えるのは発電取水量だけではなく、電化に伴って他部門の水使用量も増加する点である。家庭・工業・農業部門の水需要量は、電化に伴って2050年までにそれぞれ41 BCM、63 BCM、40 BCMに漸増すると推定される。各部門の電力利用に関連した水需要の増加によって、725万haの灌漑農地が水不足になり、2050年には推計人口の約3分の1(6億5,000万人)が生活用水へのアクセスが困難になると予測される。ただし、地域によって再生可能な水資源の利用可能性、主要な利水のタイプ、人口密度、土地利用変化や水利用者グループの政治的影響力の傾向などの要因があり、その深刻度には地域差が出る。

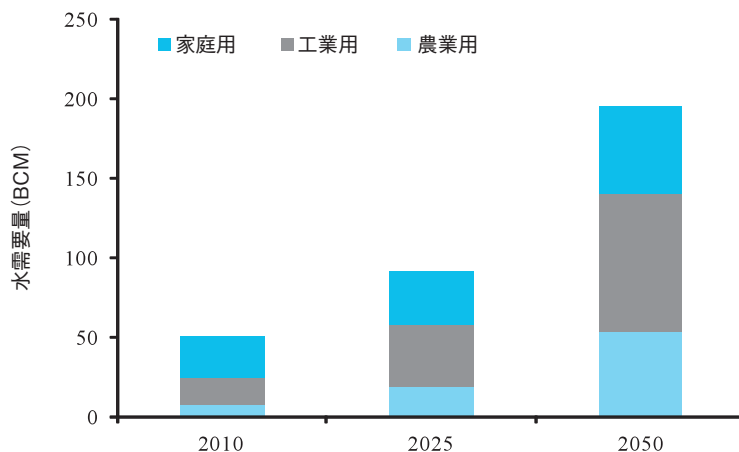


図4 インドにおける電力需要に伴う部門別の水需要量

## 6 知見と今後の課題

インドでは、急速な経済成長に伴って、今後数十年間に発電量が数倍増加すると予測されている。他方、人口急増、経済発展、その他の社会的要因から、1人当たりの水利用可能量が徐々に減少している。将来の発電推計量を考えると、先を見越して積極的に対策をとらなければ、発電部門の水需要が現状の水不足をさらに悪化させ、水危機や水をめぐる部門間対立を深刻化させかねない。水資源管理における早急な対応や発電用水量を減少させる技術開発などにより、水をめぐる危機状況を長期的に緩和することができる。ただし、データ不足一特に、発電に必要な水量の評価に極めて重要な、エネルギー源や技術別の発電分野における水需要量のデータの不足という深刻な課題がある。本ポリシー・ブリーフでは、限られたデータをもとに水とエネルギーの関連性について検討を行ったが、この問題に関してさらに広範かつ体系的な研究が必要となってくる。また、本検討結果から、インドにおける水とエネルギーの関係に関し、今後の留意事項として以下を提案する。

- 水ストレスの高い地域では、発電所建設地の選定において、エネルギー源の利用可能性などに加えて、長期的な水利用可能性も主要選定要件のひとつとすべきである。
- インドでは、当分の間、低コストの火力発電が主流になると考えられるが、発電におけるウォーター・フットプリントを減少させるために最先端の冷却塔・乾式冷却システムなど

水効率の高い技術の導入を検討することが重要である。また、発電所管理システムにおける全体的な熱効率向上についても考える必要がある。

- 再生可能エネルギー（風力、太陽光）を推進することで水資源への圧力を緩和させることができる。ただし、集光型太陽熱発電（CSP）は他のエネルギー源よりも多くの冷却水を必要とするので、CSP発電所の建設は、水資源が豊富にある地域のみで検討されるべきである。
- 全国規模で体系的に発電の水需要量データを収集するため、各発電所に水使用需要量の監視・報告を義務付けるべきである。
- エネルギー需要の増大に伴って水需要も増加することが、各ステークホルダーに十分理解されていない。システムの複雑さ、関連データ・情報の欠如、研究不足がその原因となっており、今後、水とエネルギーの関連性に関する研究を促進する必要がある。研究が進めば、エネルギーと水という2つの資源の需給面において、相互の密接な循環的關係をより深く理解することができる。

最後に、本ポリシー・ブリーフで取り上げたインドの事例で得られた知見から、水が不足している他の国においても持続可能な開発を実現する上で、水とエネルギーの問題を統合的に捉えた対策が不可欠であることを指摘しておく。

---

• **References**

- CEA (Central Electricity Authority). 2011. Monthly Installed Generation capacity report. [http://www.cea.nic.in/reports/monthly/inst\\_capacity/aug11.pdf](http://www.cea.nic.in/reports/monthly/inst_capacity/aug11.pdf)
- CSE (Center for Science and Environment). No dated. To use or to misuse- that is the question industries need to think over. Available at: <http://www.cseindia.org/dte-supplement/industry20040215/misuse.htm> (Accessed on 12 December, 2011)
- DOE (Department of Energy). 2006. Energy demands on water resources- Report to congress on the interdependency of energy and water. US Department of Energy.
- Falkenmark, M. 1989. The massive water scarcity threatening Africa-why isn't it being addressed. *Ambio* 18 (2): 112-118.
- Glassman, D., Wucker, M., Isaacman, T. and Champilou, C. 2011. The Water-Energy Nexus- Adding water to the energy agenda. Water Policy Papers. Available at: [http://www.worldpolicy.org/sites/default/files/policy\\_papers/THE%20WATER-ENERGY%20NEXUS\\_0.pdf](http://www.worldpolicy.org/sites/default/files/policy_papers/THE%20WATER-ENERGY%20NEXUS_0.pdf)
- Grover, R.B. and Chandra, S. 2006. Scenario for growth of electricity in India. *Energy Policy*, 34: 2834-2847
- Hindustan Times. 2006. "Power Cuts to Take Care of Water Scarcity" April 23, 2006. Available at: <http://www.hindustantimes.com/News-Feed/NM9/Power-cuts-to-take-care-of-water-scarcity-Mayor/Article1-89774.aspx>
- IEA (International Energy Agency). 2011. Technology development prospects for the Indian power sector. Available at: [http://www.iea.org/papers/2011/technology\\_development\\_india.pdf](http://www.iea.org/papers/2011/technology_development_india.pdf)
- NCIWRD (National Commission on Integrated Water Resources Development). 1999. Report of the National Commission for Integrated Water Resources Development. Ministry of Water Resources, Government of India, New Delhi.
- NEERI (National Environmental Engineering Research Institute). 2006. Summary report of the study on Post clearance Environmental impacts and cost-benefit analysis of power generation in India. Available at: [http://mospi.nic.in/research\\_studies\\_post\\_clearance.htm](http://mospi.nic.in/research_studies_post_clearance.htm)
- Thaindian News. 2008. Kerala set to face water storage due to poor monsoon. Available at: [http://www.thaindian.com/newsportal/business/kerala-set-to-face-water-shortage-due-to-poor-monsoon\\_10068608.html](http://www.thaindian.com/newsportal/business/kerala-set-to-face-water-shortage-due-to-poor-monsoon_10068608.html)
- The Times of India. 2011. Oppn to Adani power plant in Chindwara grows. Available at: [http://articles.timesofindia.indiatimes.com/2011-07-17/nagpur/29784634\\_1\\_adani-group-adani-power-power-plant](http://articles.timesofindia.indiatimes.com/2011-07-17/nagpur/29784634_1_adani-group-adani-power-power-plant)
- UNEP (United Nation Environment Programme) Finance Initiative. 2010. Power sector. Chief Liquidity Series. Issue: 2. Available at: [http://www.unepfi.org/fileadmin/documents/chief\\_liquidity2\\_01.pdf](http://www.unepfi.org/fileadmin/documents/chief_liquidity2_01.pdf)
- WRI (World Resources Institute). 2010. Over heating- Financial risk from water constraints on power generation in Asia. Available at: [http://pdf.wri.org/over\\_heating\\_asia.pdf](http://pdf.wri.org/over_heating_asia.pdf)

---

**公益財団法人 地球環境戦略研究機関**

〒240-0115 神奈川県三浦郡葉山町上山口2108-11

TEL: 046-855-3700 FAX: 046-855-3709 E-mail: [iges@iges.or.jp](mailto:iges@iges.or.jp) <http://www.iges.or.jp>

Copyright © 2012 Institute for Global Environmental Strategies. All rights reserved. この出版物の内容は執筆者の見解であり、IGESの見解を述べたものではありません。