

Title	次世代の技術経営：脱炭素に向けたモノづくり力とグローバルサウスのDX起爆力の融合：日印ピア効果の追及によるモノづくり力とDX力の融合
Author(s)	渡辺, 千仞; 藤, 祐司
Citation	年次学術大会講演要旨集, 38: 269-274
Issue Date	2023-10-28
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/19297">http://hdl.handle.net/10119/19297</a>
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

# 1 D 0 8

## 次世代の技術経営：脱炭素に向けたモノづくり力とグローバルサウスの DX 起爆力の融合 — 日印ピア効果の追及によるモノづくり力と DX 力の融合

○渡辺 千仞 (東京工業大学)、藤 祐司 (東北学院大学)

### 1. 序

#### 1.1 ねらい

世界最大の人口を擁するに至ったインドはグローバルサウスの盟主を目指してデジタル技術の躍進を梃に世界 3 位の CO<sub>2</sub> 排出量の削減を率先している [9]。だがその実効に不可欠な製造技術の裏打ちに難航し、DX(デジタル変革)主導の脱炭素の実現は分水嶺に直面している。

グローバルサウスの CO<sub>2</sub> 排出量が世界の 2/3 を占めることに照らせば、インドの脱炭素の帰趨は世界全体の温暖化対策の成否を決するといっても過言ではない。

このような中で、日本のモノづくりの強みとインドの誇る DX 力の融合が注目され、それは、インド固有の伝統的なイノベーション誘発システム「ジュガード」の時代的刷新を促し [2]、次世代の技術経営に燭光を与える。

本稿はこの可能性を検証する。

#### 1.2 グローバルサウスの脱炭素

図 1 は世界の CO<sub>2</sub> 排出量トップ 10 を示す。インドは 3 位、日本は 5 位の責任を有する。

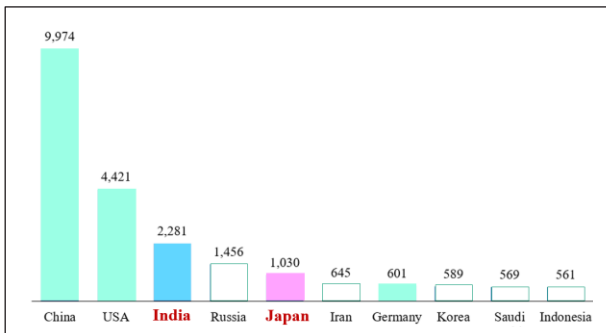


図 1. 世界の CO<sub>2</sub> 排出トップ 10 (2020) -100 万トン  
資料: BP Statistics (2022).

グローバルサウスの CO<sub>2</sub> 排出量は急速に増大し、世界全体の 2/3 を占めるに至り (図 2)、その盟主をねらうインドの率先的対応が注目されるに至っている。

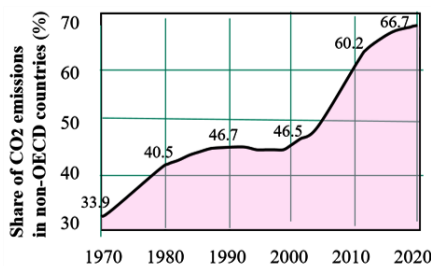


図 2. 非OECD 諸国の CO<sub>2</sub> 排出量シェアの推移 (1970-2020)-%。  
資料: World Bank Data Indicators.

#### 1.3 成長と CO<sub>2</sub> 排出軌道の好対照

世界の CO<sub>2</sub> 排出トップ 7 位までを占める「CO<sub>2</sub> 排出大国」の中でも米国、日本、ドイツ等「西側先進国」が 2013 以降押しなべて CO<sub>2</sub> 排出量減少軌道に転じているのと好対照に、中国、インドは、依然、経済成長に伴う CO<sub>2</sub> 排出増大を抑えきれずにいる (図 2)。

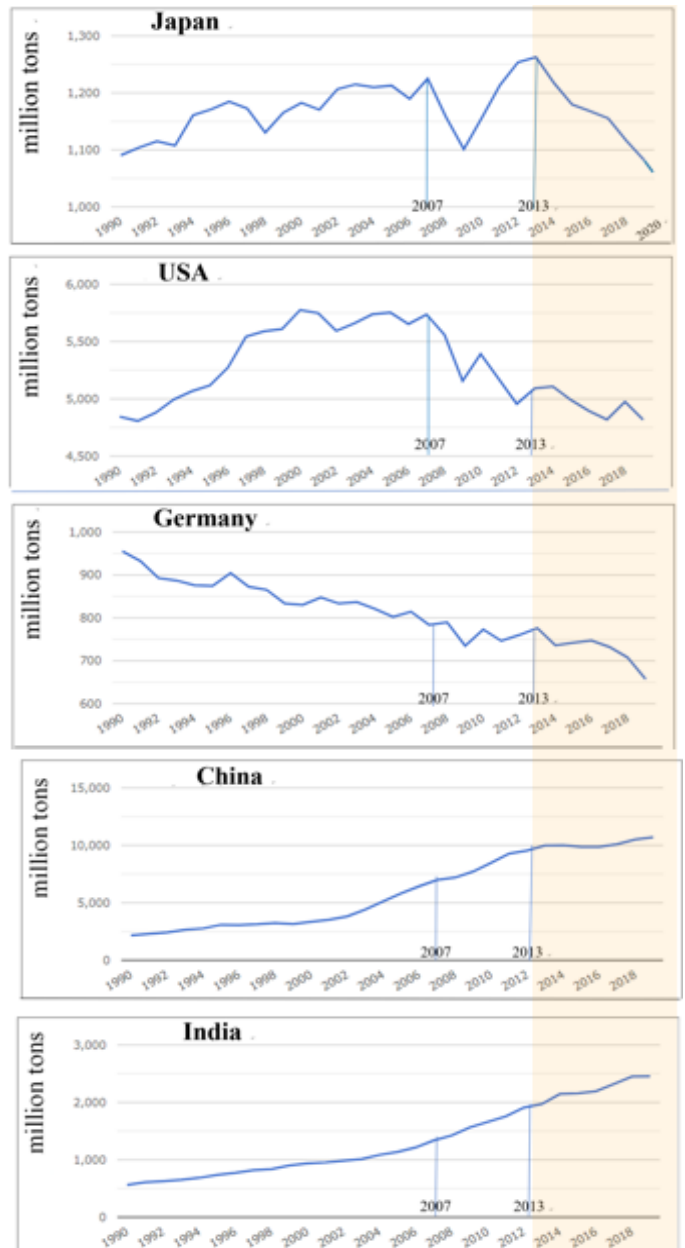


図 3. CO<sub>2</sub> 排出 5 大国の CO<sub>2</sub> 排出量の推移 (1990-2020)-百万トン。  
資料: World Bank Data Indicators.

## 2. 脱炭素構造の比較分析

本質的な脱炭素は脱エネルギー・炭素依存に向けた R&D および経済社会総体のデジタル変革 DX に期待される [13] ことに照らして、「CO<sub>2</sub> 排出 5 大国」の 2013-2020 の期間の CO<sub>2</sub> 排出量の平均変化率およびその要因を比較すると、図 4 のように示される (巻末別添 1 参照)。

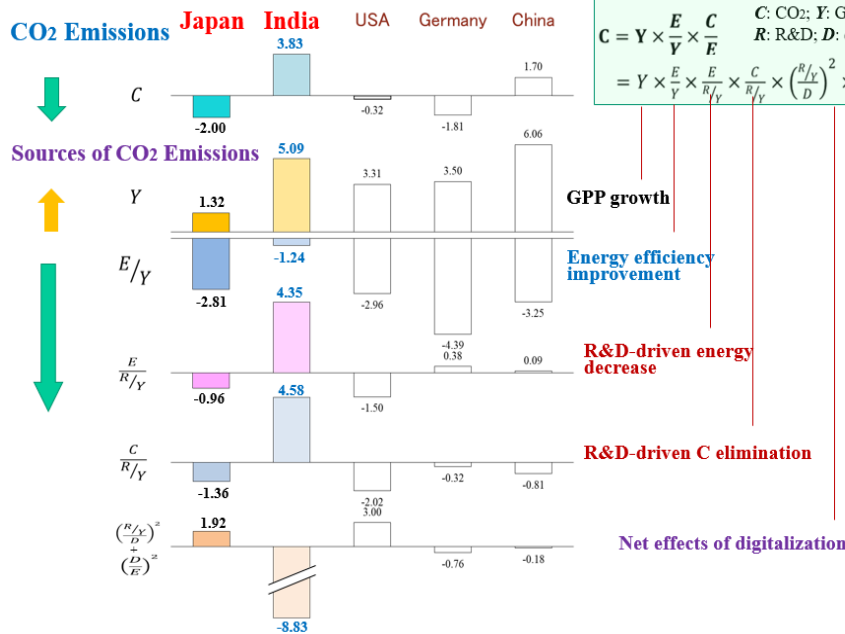


図 4. CO<sub>2</sub> 排出 5 大国の CO<sub>2</sub> 排出・同要因増減率 (2013-2020 平均) - % p.a.

日本はエネルギー効率化と R&D 主導による エネルギー削減、燃料転換によって脱炭素に邁進し[21]、5か国中最低の成長率と相まって、年率 2%の CO<sub>2</sub> 排出量削減をリードしているが、インドはもっぱら DX のみに依存しており、その経済成長 (年率 5%) は旺盛な DX にも関わらず年率 3.8%の CO<sub>2</sub> 排出の増加をもたらしている。

## 3. 分水嶺に直面するインドの DX

経済成長に貢献する包括的なデジタル化は相応の R&D の進展に裏付けられている [10] 一方、インドでは図 5 に示すように、R&D の増加ペースを超えてデジタル化が加速している [8, 15]。

その結果、図 6 に示すように、インド以外の4か国では、R&D の進展に裏付けられた堅実なデジタル化が図られ、その「フライホイール効果」を享受しているのに対して[10]、インドでは近年同効果にはつながらない、突出した「デジタル化の跛行的先行」現象がみられるに至っている。

これは、都市・農村や富裕層・貧困層間の格差を拡大したり、サイバーセキュリティ問題の派生等の悪循環を惹起するところとなり、図 7 に示すように、インドの DX は分水嶺に立ち、改めて「未成熟の脱工業化」 [17, 18, 19] が取りざたされるに至っている。

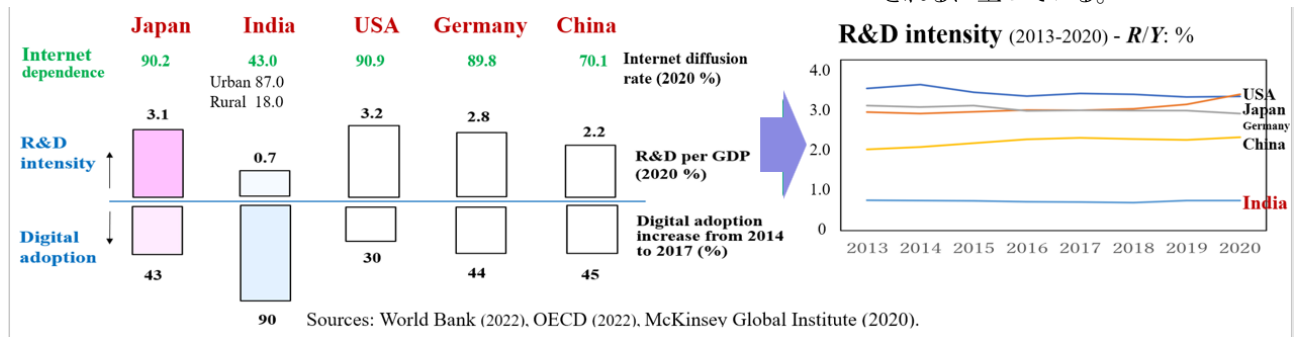


図 5. CO<sub>2</sub> 排出 5 大国の R&D 強度とデジタル化進展度。

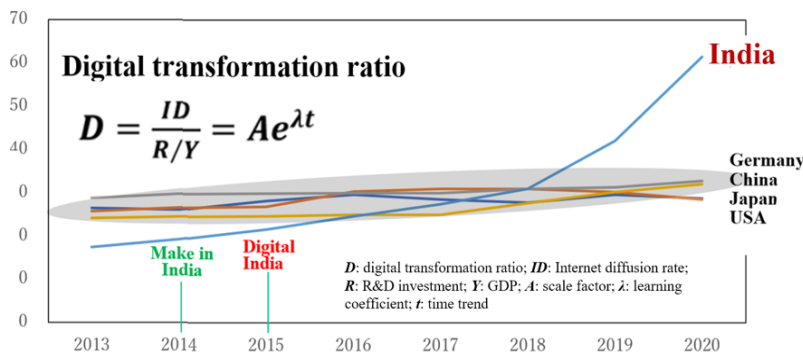


図 6. CO<sub>2</sub> 排出 5 大国の R&D ベースデジタル化の推移 (2013-2020)。

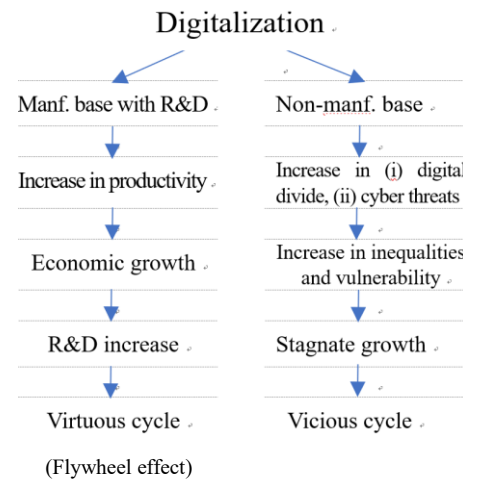


図 7. 分水嶺に直面するインドの DX.

#### 4. 外生技術の内生化

デジタル化の進展は、図8に示すように、大きく制度・インフラ面の整備革新と製造技術を始めとする技術基盤の革新に負う。インドで 2014/9 にスタートした Make in India は、専ら後者を、2015/5 にスタートした Digital India は前者を主眼とする。

前者は学習効果を始めとする外生技術 ( $\lambda$ ) に負うのに対して、後者は堅実な R&D 投資等内生技術の蓄積を必要とする。成長に結びつく Inclusive DX はアクセス可能な技術リノベーションを開発するだけでなく、包括性の観点からビジネスモデルや組織構造、社会システムの整備・再考を図り、両者の好循環によるバランスの取れた発展を必要とするが、インドの現状は図9に示すように、

倒的に外生技術に依存し、内生技術蓄積の遅れが否めない。

その結果、先に見たデジタル格差の増大による悪循環が危惧されるに至り、「前世代デジタルの併用への軌道修正」等の「ダブルトラック」の具備を余儀なくされるに至っている [7]。

Digitalization state is represented by the Internet diffusion rate  $ID$  governed by  $R/Y$  and  $\lambda$ .

$$ID = Ae^{\lambda t} \cdot \frac{R}{Y} \quad A: \text{scale factor}, \lambda: \text{learning coefficient}, t: \text{time trend}, R: \text{R\&D investment}, Y: \text{GDP}.$$

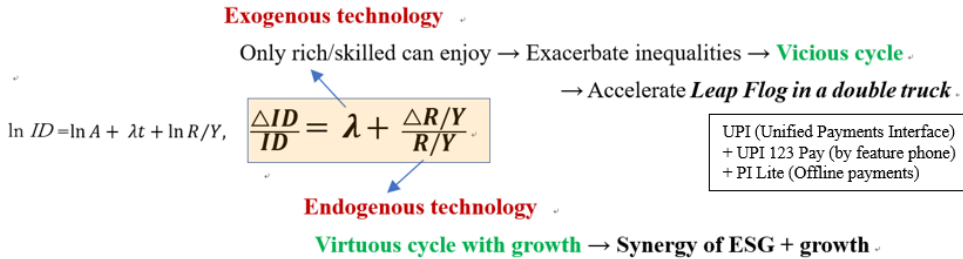
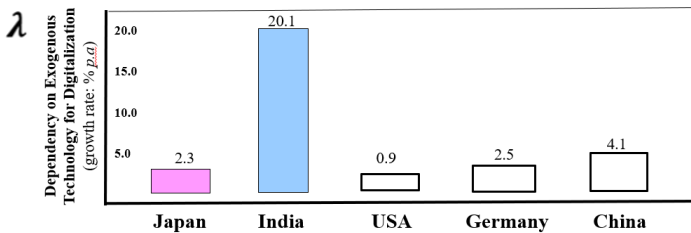


図8. デジタル化進展のダイナミズムー内政技術・外生技術のバランスと好循環・悪循環。

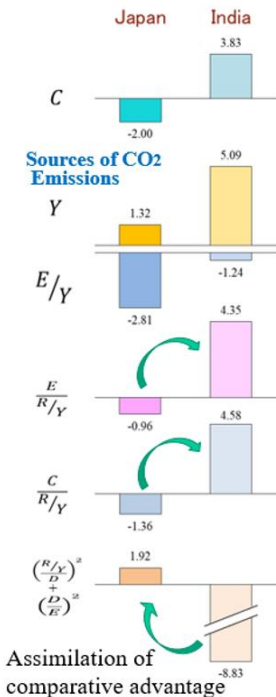


2014/9 にスタートした Make in India はこのようなインバランスの招来を避けることも念頭に置いたものであるが [11, 12]、現時点では難航は否めず [6, 20]、デジタル化が跛行的に先行し、先に見たように、他国に誇る DX 主導の脱炭素の実現も分水嶺に直面するに至っている [3, 4]。

このような観点から、製造技術の発展整備が急務とされ、図10に示すような日本のモノづくりの強みとインドの DX 力との融合が注目されるに至っている [2, 9]。

図9. CO<sub>2</sub> 排出5大国のデジタル化への外生技術依存度 (2013-2020).

#### CO<sub>2</sub> Emissions



	$C$	$Y$	$\frac{E}{Y}$	$\frac{E}{R_Y}$	$\frac{C}{R_Y}$	$\left(\frac{R}{Y}\right)^2$	$\left(\frac{D}{E}\right)^2$	$\epsilon$	$\left(\frac{R}{Y}\right)^2$
<b>Japan</b>	-2.00	1.32	-2.81	-0.96	-1.36	-5.92	7.84	-0.11	1.92
<b>India</b>	3.83	5.09	-1.24	4.35	4.58	-41.87	33.04	-0.12	-8.83
	CO <sub>2</sub> emissions	GDP growth	Energy efficiency improvement	R&D-driven energy decrease	R&D-driven CO <sub>2</sub> elimination	Decarbonization through DX	Green energy creation by digitalization	Confounding term	Net digitalization effects

$\frac{E}{R/D}$	$\frac{C}{R/D}$	$\frac{R/Y}{D}$	$\frac{D}{E}$
<b>R&amp;D-driven energy decrease</b>	<b>R&amp;D-driven CO<sub>2</sub> elimination</b>	<b>Decarbonization through digital transformation</b>	<b>Green energy creation by digitalization</b>
1. Additive manufacturing (3D printing)	1. Carbon capture & utilization (CCU)	1. Big data analysis & machine learning	1. Sustainable energy sources
2. Robotics and automation	2. Process optimization & efficiency	2. Digital twin technology	2. Virtualization & cloud computing
3. Energy-efficient equipment & machinery	3. Sustainable materials & green chemistry	3. Energy management systems (EMS)	3. Data center optimization
4. Sensor technology & industrial IOT	4. Circular economy & recycling	4. Digital supply chain management	4. Renewable energy procurement
5. Sustainable supply chain management	5. Smart manufacturing & industrial IOT	5. Remote monitoring & collaboration tools	5. Electrification and alternative fuels

Japan's comparative advantage

India's comparative advantage

図10. 日印脱炭素比較優位 (2013-2020 平均削減率) と代表的な比較優位技術。

## 5. インド固有のイノベーション誘発システム ジュガード の時代的刷新

このような融合の重要性の高まりは、混沌をバネに、最適な共生パートナーを追求することによって、儉約的で柔軟かつ包括的な方法で持続成長を図るインド固有のイノベーション誘発システム「ジュガード」の鍵となる「最適なパートナーの確保」につながることであり、日印協力の促進を期待させることになる [14]。

ジュガードは、図 11 に示すように、森林エコシステムの

持続成長と酷似し[14]、機知に富んだ多様なスキルと創意工夫をベースに、適応性に優れた、イノベーティブな問題解決策を志向するインスティテューションの下に、資源制約等の難局に対して、革新的解決を導く協働策を追求して最適持続解を模索するもので、エネルギー危機等をバネにイノベーションを誘発して対抗した日本システムと優れた親和性を有するものである。

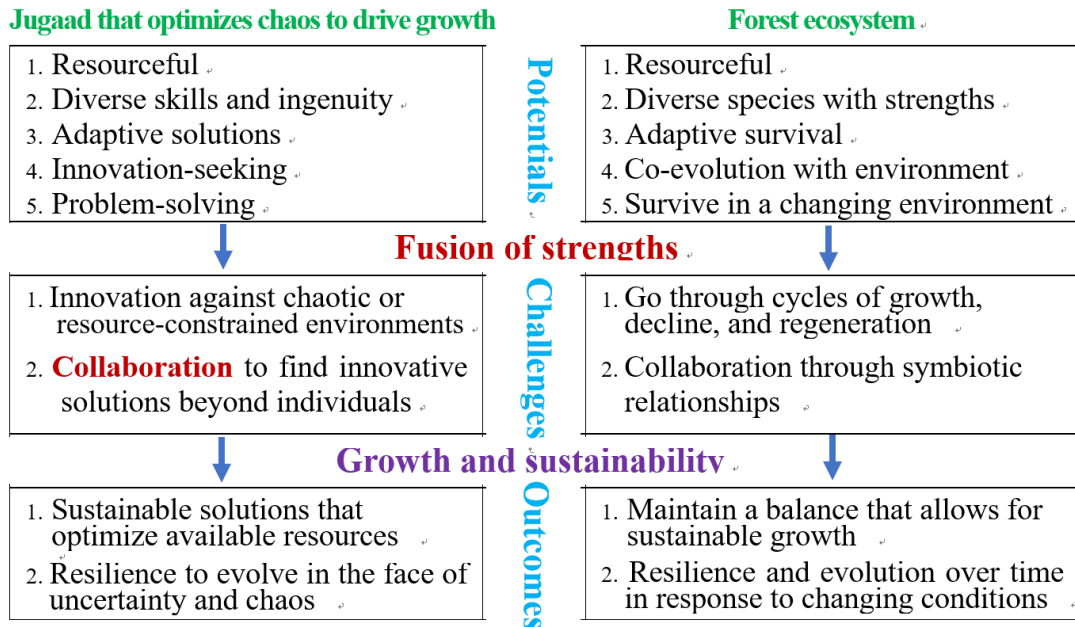


図 11. ジュガードと森林エコシステムの持続成長ダイナミズムの対比

このユニークなシステムは、歴史的に、インド固有の多様性に富んだイノベーティブな解決策志向なインスティテューションとたえざる混沌の中で、築かれ、磨き上げられてきたものであるが、今日、脱炭素という世界大の課題に直面し、それにグローバルサウスのリーダーとして率先果敢に挑戦するにあたって、「ジュガードの時代的刷新」が求められるに至っている [1, 16]。

それは畢竟、脱炭素という世界大の課題に対するグローバルサウスにも適応可能な、世界標準となりうる実践的・革新的で、「儉約的で柔軟かつ包括的」な解をリードすることに他ならず、難局をバネに飛躍する日本システムとの親和性に照らせば、脱炭素という共通の課題に対する取り組みに高い補完性を発揮する素地を有するものと考えられる。

## 6. 日印ピア効果の追及

このような中で、図 10 に示す日本のモノづくり力、インドの DX 力に代表される相互の比較優位の融合を図ることは「世界大の課題に対する世界標準となりうる実践的な解のリード」への道を拓くことが期待される。

このためには、図 12 に示すように、双方のベストプラクティスを結集して相互に切磋琢磨しあって高めあうピア効果を追求し[5]、それをトリガーに融合へのマッチングが雪だるま式に増大していく好循環のシステムを構築していくことが効果的と考えられる。

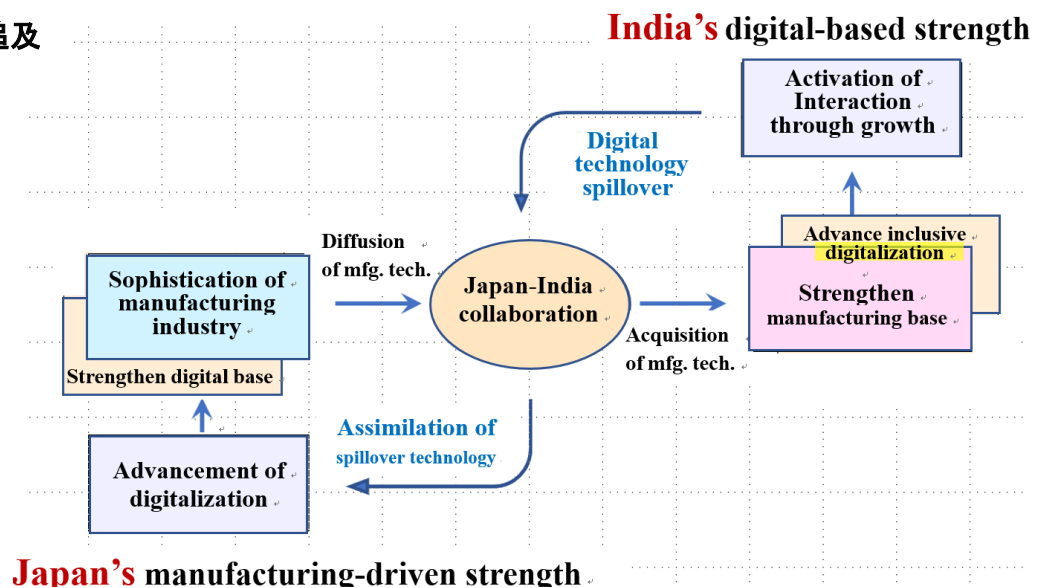


図 12. 脱炭素に向けた日印ピア効果の追及－日本のモノづくり力とインドの DX 力の融合。



## 7. 結 論 — 次世代の技術経営への示唆

脱炭素は、洋の東西、南北を問わぬ世界共通の一蓮托生の課題であり、個々の対応では解決不能で、世界全体の一体的取り組みによってこそ解決可能な課題である。

世界最大の人口を擁するに至ったインドはグローバルサウスの盟主を目指してデジタル技術の躍進を梃に世界3位のCO<sub>2</sub>排出量の削減を率先している。

だがその実効に不可欠な製造技術の裏打ちに難航し、DXを軸とした脱炭素の実現は分水嶺に直面している。

グローバルサウスのCO<sub>2</sub>排出量が世界の2/3を占めることに照らせば、インドの脱炭素の帰趨は世界全体の温暖化対策の成否を決するといっても過言ではない。

このような中で、日本のモノづくりの強みとインドの誇るDX力の融合が注目され、それは、インド固有の伝統的なイノベーション誘発システム「ジュガード」の時代的刷新を促し、以上の状況に照らせば、これは次世代の技術経営に燭光を与えることを期待させる。

本稿はこの可能性の検証を試みた。

世界のCO<sub>2</sub>排出量3位、5位を占めるインド・日本を擁する「CO<sub>2</sub>排出5大国」にあって日本、米国、ドイツの「西側経済大国」のCO<sub>2</sub>排出量は減少傾向に転じているが、中国、インドのグローバルサウスでは経済成長によるCO<sub>2</sub>排出量を抑えきれず、これらグローバルサウスのCO<sub>2</sub>排出量シェアは急速に増大し、世界全体の排出量の2/3を占めるに至っており、その削減が世界全体の課題となっている。

日本はエネルギー効率化とR&D主導のエネルギー削減、燃料転換によってCO<sub>2</sub>排出を削減するに至っているが、インドの経済成長は旺盛なDXにも関わらずCO<sub>2</sub>排出の増加をもたらしている。

経済成長に貢献する包括的なデジタル化はR&Dの進展を不可欠とするがインドではR&Dの増加ペースを超えてデジタル化が加速しており、期待とは裏腹の格差拡大等をきたし、DXは分水嶺に立っている。

このような、外生技術を中心とした急速なデジタル化には内生技術開発を補完するバランスのとれた開発が必要不可欠で、この要件は日本の製造業の強みとインドのDXの融合の重要性をクローズアップする。

このような融合の重要性の高まりは、混沌を最適化し、儉約的で柔軟かつ包括的な方法で成長を推進するインド固有のイノベーション誘発システム「ジュガード」の鍵となる両国の強みの融合につながるものであり、日印協力の促進を求めることになる。

このアプローチは、日本のアプローチ、特に脱炭素化などの共通の優先的課題に対して非常に補完的であり、本格的な脱炭素化に不可欠とされる日本のデジタル化とインドの製造技術の進歩との間の好循環を誘発する。

このような中で、日本のモノづくり力、インドのDX力に代表される相互の比較優位の融合を図ることは「世界大の課題に対する世界標準となりうる実践的な解のリード」への道を拓くことを期待させる。

この期待に応えるためには、双方のベストプラクティスを結集して相互に切磋琢磨しあって高めあうピア効果を発揮し、それをトリガーに融合へのマッチングが雪だるま式に増大していく好循環のシステムを構築していくことが効果的と考えられる。

このような取り組みを通じて、脱炭素という世界大の課題に対するグローバルサウスにも適応可能な、世界標準となりうる実践的・革新的で、「儉約的で柔軟かつ包括的」な解が期待される。

双方のベストプラクティスを結集して、ピア効果の好循環を検証する「日印脱炭素シンポジウム」はそのパイオニアと期待される。<https://foxc-j.com/001.html>

## 参考文献

- [1] Agrawala, B., 2015. Making in India beyond Jugaad. <https://www.livemint.com/Opinion/ZbGzflU4YCVW8jzdBZY3N/Making-in-India-beyond-jugaad.html> (retrieved 0821 2023).
- [2] Ahuja, S.K., 2022. Japanese Teamwork, Accountability Combined with Indian Jugaad Concept Can Make India World's Best Manufacturing System. <https://www.asiancommunitynews.com/japanese-teamwork-accountability-combined-with-indian-jugaad-concept-can-make-india-worlds-best-manufacturing-system/> (retrieved 0821 2023).
- [3] Amirapu, A. and Subramanian, A., 2015. Manufacturing or Services? An Indian Illustration of a Development Dilemma. Center for Global Development Working Paper 409.
- [4] Digital Planet, 2022. Digital Light at the End of the COVID Tunnel for India? – How to Translate Digital Momentum into Job Creation and Recovery beyond the Pandemic. <https://sites.tufts.edu/digitalplanet/digital-light-at-the-end-of-the-tunnel-for-india/> (retrieved 0612 2023).
- [5] Eckles, D., Kizilcec, R.F. and Bakshy, E., 2016. Estimating Peer Effects in Networks with Peer Encouragement Designs. PNAS 113, No. 27, 7316-7322.
- [6] EY, 2023. Economy Watch: Monitoring India's Macro-Fiscal Performance. Ernst & Young LLP. New Delhi.
- [7] Iwasaki, K., 2023. Digitalization of Financing Business in India. RIM 23, No. 88, 49-78.
- [8] McKinsey Global Institute, 2019. Digital India: Technology to Transform a Connected Nation. McKinsey Global Institute, New York.
- [9] MoEFCC, 2022. India's Long-term Low-carbon Development Strategy. Ministry of Environment, Forest and Climate Change, Government of India, New Delhi.
- [10] OECD, 2014. Focus on Inequality and Growth. OECD, Paris.
- [11] Panda, A., 2022. Make in India Project: Objectives, Aims, Challenges & Benefits. <https://digest.myhq.in/make-in-india-project/> (retrieved 0720 2023).
- [12] Poloczek, C., 2022. Defining Inclusive DX in 2022. <https://www.linkedin.com/pulse/defining-inclusive-digital-transformation-2022-christian-poloczek> (retrieved 0904 2023).
- [13] Pushkarna, S., 2023. Is Digital India Truly Inclusive?. [https://www.researchgate.net/publication/365943694\\_Digital\\_Economy\\_In\\_India\\_For\\_Inclusive\\_Growth\\_Opportunities\\_And\\_Challenges\\_For\\_Development](https://www.researchgate.net/publication/365943694_Digital_Economy_In_India_For_Inclusive_Growth_Opportunities_And_Challenges_For_Development) (retrieved 0724 2023).
- [14] Radjou, N., Prabhu, J. and Ahuja, S., 2012. Jugaad Innovation: Think Frugal, Be Flexible, Generate Breakthrough Growth. Jossey-Bass A Wiley Imprint, San Francisco.
- [15] Rajan, A., P. 2022. Digital Economy in India for Inclusive Growth: Opportunities and Challenges for Development. ISSN [ONLINE]: 2395-1052. [https://www.researchgate.net/publication/365943694\\_Digital\\_Economy\\_In\\_India\\_For\\_Inclusive\\_Growth\\_Opportunities\\_And\\_Challenges\\_For\\_Development](https://www.researchgate.net/publication/365943694_Digital_Economy_In_India_For_Inclusive_Growth_Opportunities_And_Challenges_For_Development) (retrieved 0731 2023).
- [16] Rao, M., 2015. How India Plans to Turn "Jugaad" into Large Scale Innovation. <https://www.techinasia.com/india-plans-turn-jugaad-large-scale-innovation> (retrieved 0828 2023).
- [17] Rodrik, D., 2013. Unconditional Convergence in Manufacturing. The Quarterly Journal of Economics 165-204.
- [18] Rodrik, D., 2015. Premature Deindustrialization. NBER Working Paper Series No. 20935.
- [19] Sakamaki, T., Sato, T., Ichikawa, K., Saito, Y. and Fujimoto, T., 2019. Economic Growth and Industrial Structure of India. ESRI Research Note No. 44. Economic and Social Research Institute, the Cabinet Office, Tokyo.
- [20] Sustainable Development Solutions Network, 2015-2023. World Happiness Report. United Nations, New York.
- [21] Watanabe, C., 1999. Systems Option for Sustainable Development: Effect and Limit of the MITI's Efforts to Substitute Technology for Energy. Research Policy 28, No. 7, 719-749.

### 別添 1. CO<sub>2</sub> の排出構造

$$C = Y \times \frac{E}{Y} \times \frac{C}{E}$$

where  $Y$ : GDP;  $\frac{E}{Y}$ : energy efficiency improvement, and  $\frac{C}{E}$ : fuel switching.

Taking **effects of R&D and digitalization**,  $\frac{E}{Y}$  and  $\frac{C}{E}$  can be transformed as follows:

$$\frac{E}{Y} = \frac{E}{R/Y} \times \frac{R/Y}{Y} = \frac{E}{R/Y} \times \frac{R/Y}{D} \times \frac{D}{E} \times \frac{E}{Y}, \quad \frac{C}{E} = \frac{C}{R/Y} \times \frac{R/Y}{E} = \frac{C}{R/Y} \times \frac{R/Y}{D} \times \frac{D}{E}$$

where  $R$ : R&D investment,  $R/Y$ : R&D intensity, and  $D$ : Digital transformation ratio ( $DXR$ ), which indicates the degree of digitalization for R&D in general.

Since the digitalization status is represented by the Internet diffusion rate  $ID$ ,

$D$  can be expressed as  $D = \frac{ID}{R/Y}$ .

Thus,  $C$  can be decomposed as follows:

$$C = Y \times \left( \frac{E}{R/Y} \times \frac{R/Y}{D} \times \frac{D}{E} \times \frac{E}{Y} \right) \times \left( \frac{C}{R/Y} \times \frac{R/Y}{D} \times \frac{D}{E} \right) \\ = Y \times \frac{E}{Y} \times \frac{E}{R/Y} \times \frac{C}{R/Y} \times \left( \frac{R/Y}{D} \right)^2 \times \left( \frac{D}{E} \right)^2 = Y \times \frac{E}{Y} \times \frac{E}{R/Y} \times \frac{C}{R/Y} \times \left( \frac{R/Y}{E} \right)^2$$

where  $\frac{E}{R/Y}$ : R&D-driven energy decrease;  $\frac{C}{R/Y}$ : R&D-driven CO<sub>2</sub> elimination;

$\frac{R/Y}{D}$ : decarbonization through digital transformation;  $\frac{D}{E}$ : green energy creation

by digitalization; and  $\frac{R/Y}{E}$ : net effects of digitalization.

### 別添 2. DX による脱炭素：R/Y の必要条件

#### Decarbonization through DX

$$\frac{d \frac{R/Y}{D}}{d R/Y} = \frac{1}{D} \left( 2 - \frac{d \ln ID}{d \ln R/Y} \right) < 0$$

$$\longrightarrow \frac{d \ln ID}{d \ln R/Y} > 2$$

**R/Y highly inducing ID**

#### Green energy creation by digitalization

$$\frac{d \frac{D}{E}}{d R/Y} = \frac{1}{E \cdot \frac{R}{Y}} \left[ D \left( \frac{d \ln ID}{d \ln R/Y} - 1 \right) - \frac{d \ln E}{d \ln R/Y} \right]$$

$$> \frac{1}{E \cdot \frac{R}{Y}} \left( D(2 - 1) - \frac{d \ln E}{d \ln R/Y} \right)$$

$$= \frac{1}{E \cdot \frac{R}{Y}} \left( D - \frac{d \ln E}{d \ln R/Y} \right) < 0$$

$$\longrightarrow \frac{d \ln E}{d \ln R/Y} > D$$

**R/Y inducing green energy with higher elasticity than D**

### 別添 3. CO<sub>2</sub> 排出 5 大国の CO<sub>2</sub> 排出・同要因増減率 (2013-2020 平均) - % p.a

	$C$	$Y$	$\frac{E}{Y}$	$\frac{E}{R/Y}$	$\frac{C}{R/Y}$	$\left( \frac{R/Y}{D} \right)^2$	$\left( \frac{D}{E} \right)^2$	$\epsilon$	$\left( \frac{R/Y}{E} \right)^2$
<b>Japan</b>	<b>-2.00</b>	1.32	-2.81	-0.96	-1.36	-5.92	7.84	-0.11	1.92
<b>India</b>	<b>3.83</b>	5.09	-1.24	4.35	4.58	-41.87	33.04	-0.12	-8.83
<b>USA</b>	<b>-0.32</b>	3.31	-2.96	-1.50	-2.02	1.60	1.40	-0.15	3.00
<b>Germany</b>	<b>-1.81</b>	3.50	-4.39	0.38	-0.32	-8.18	7.42	-0.22	-0.76
<b>China</b>	<b>1.70</b>	6.06	-3.25	0.09	-0.81	-12.12	11.94	-0.21	-0.18
	CO <sub>2</sub> emissions	GDP growth	Energy efficiency Improvement	R&D-driven energy decrease	R&D-driven CO <sub>2</sub> elimination	Digitalization	Energy dependency of digital.	Confounding term	Net digitalization effects

$C$ : CO<sub>2</sub> emissions (World Bank – Data Indicators; BP Statistics),  $Y$ : GDP (World Bank – Data Indicators),  $E$ : Primary energy consumption (BP Statistics),  $R$ : R&D expenditure (OECD Science Indicator),  $D$ : Digital R&D intensity: Internet penetration rate/R&D intensity (World Bank; ITU Statistics).