

# 日立 総研

特集

「資本、資源、労働力の相互連携で  
高まる北米経済圏の優位性」

vol.9-3

2014年12月発行

表紙題字は当社創業社長(元株式会社日立製作所取締役会長)駒井健一郎氏 直筆による

# 日立 総研

vol.9-3  
2014年12月発行

- 2 巻頭言  
4 対論 ～ Reciprocal ～

## 特集

### 「資本、資源、労働力の相互連携で 高まる北米経済圏の優位性」

- 14 日立総研レポート  
高いイノベーションで競争優位高める北米  
衣笠 一歩
- 18 寄稿  
The North American Energy Transformation—  
Infrastructure is the Key in Unlocking Greater Economic Wealth  
Jane Nakano Senior Fellow
- 30 寄稿  
自動車産業のメキシコ・米国連携  
内多 允
- 34 寄稿  
Additive Manufacturing Takes Flight  
Andrew Durant
- 38 Voice from the Business Frontier  
Hitachi Mexico, S.A. de C.V. Vice President 満山 真一郎氏

- 42 研究紹介  
44 先端文献ウォッチ

## 解けない課題

(株) 日立総合計画研究所  
取締役社長  
白井 均

大ヒットした映画「ALWAYS 三丁目の夕日」の原作は、西岸良平氏が1974年から既に40年にわたって連載を続けている大長編漫画「三丁目の夕日」です。昭和30年代の「夕日町三丁目」を舞台に、さまざまな人間模様が展開されています。昭和30年代を特別に美化しているわけではなく、むしろ当時の生活の貧しさ、不便さも自然に描かれています。それでも登場人物たちが、何か生き生きとして幸せに見えるのは、現代より時間の流れが緩やかで、人と人のつながりが親密に感じるからでしょうか。

さて、社会科学としての経済学は、本来社会全体の福利厚生を高め、社会を構成する人々の幸福を高めることをめざしているはずですが、当然のことながら経済の発展段階によって、さらには文化、宗教、個人の価値感によっても、求める幸福の姿は異なります。経済学は、人間の認知能力や情報収集・処理能力には一定の限界があることを踏まえつつも、人間を自らの利益を追求するために合理的な行動をとるものと捉えた上で、市場メカニズムの中で発生する経済現象の法則に焦点をあててきました。一方、最終目標であるはずの人々の幸福とはそもそも何かに関しては長年にわたり経済学の主要課題ではありませんでした。

それでも、90年代以降、幸福の度合いに関する調査の統計分析が広がったことなどに伴い、経済学でも「幸福」に関する研究が一部成果を挙げつつあります。その一つは、相対所得仮説と呼ばれるもので、幸福度は自分の絶対所得ではなく、他人の所得との比較で決まる、というものです。つまりたとえ自分の所得が増えても、他人の所得が自分以上に増えた結果、格差が広がれば幸福度は下がります。もう一つは、順応仮説と呼ばれるもので、所得が上がれば一時的に幸福度は増しますが、人間はすぐにその状態に慣れてしまって幸福度は元に戻ってしまう、というものです。

「三丁目の夕日」の時代は「努力したものは報われる」という将来への期待を誰もが素朴に信じられる時代だったのでしょう。多くの人々が賃金上昇の恩恵を受け、テレビ、冷蔵庫、洗濯機を購入することができました。社会全体で見れば経済格差も小さい時代でした。

経済が成熟するとともに、市場での成長機会は限られてきます。「努力した者は（誰もが）報われる」社会から、失敗のリスクはあっても「挑戦し、成功

---

---

した者が報われる」社会となります。誰もが報われるわけではなく、社会全体としては所得の伸びは低下し、格差は拡大します。幸福に関する二つの仮説に立てば、幸福度が低下する人が増えることになります。

当然のことながら、こうした状況への許容度は国の歴史や文化、宗教によって異なります。「挑戦し、成功した者が報われる」とは、アメリカンドリームそのものであり、米国社会には成功者をたたえる文化があります。ところが、その米国においても大きな変化がみられます。2011年9月、ニューヨークのウォール街で「ウォール街を占拠せよ (Occupy Wall Street)」という衝撃的な抗議運動が起きました。この運動の参加者は“We are the 99%”というスローガンを掲げました。1979年から2007年までの間に米国の上位1%の富裕層の所得は275%増加したのに対し、全体の60%を占める中間層の所得は40%しか増えていない、経済成長の果実の多くは最富裕層に集積されている、との主張です。

フランスの経済学者トマ・ピケティの書いた「21世紀の資本論」(英訳 *Capital in the Twenty-First Century*) が、英語版で700ページ近い専門書であるにもかかわらず、米国の一般読者の関心をひきつけています。同書は、過去100年以上の長期の時間軸で見ると、経済が大きく成長したにもかかわらず、格差はほとんど縮小していないことを実証データで示しました。1910年には米国の上位10%の富裕層が国全体の富の80%を占め、二度の世界大戦を経ていったんは60%近くまで低下するのですが、2010年には70%を超えるまで戻ってしまいます。アメリカンドリームとは、たとえ生まれは貧しくても才能と努力により成功するチャンスは誰にでもある、という希望を社会が共有するものですが、生まれた時には既に大きな格差があるとすれば、本当に挑戦するチャンスはあるのか、ビル・ゲイツやスティーブ・ジョブズの成功は極めてまれな例外にすぎないのではないか、この本は米国社会にそうした疑念を提起する結果となりました。

経済学における幸福の研究は、これからの社会のあり方を考える際の材料は提供していますが、社会を構成する人々の幸福を高めること自体を研究対象としているわけではありません。成熟した先進国において、経済の活力を維持しつつ、より多くの人々が幸福を感じる経済社会とはどのような姿なのか、いまだ経済学の領域では閉じない課題といえます。

# 宇宙の謎を解き明かすために必要なこと

## ～研究継続のために必要な人や資金をいかに確保するか～

宇宙は何でできているのか、宇宙はどのようにして始まったのか、そしていつ終わるのか——宇宙の謎は尽きることがありません。近年、観測・計測技術の進展やシミュレーション技術の進歩により、ヒッグス粒子に代表されるような、宇宙に関する新たな発見が相次いでいます。科学が宇宙の謎に本格的に切り込みつつあると断言していいでしょう。

今回は、東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構・機構長である村山斉氏を迎え、宇宙の謎に関する研究内容や日本の競争力維持のための基礎研究の重要性などについてお話を伺いました。



### 村山 斉 氏

1964年、東京生まれ。米国カリフォルニア大学バークレー校物理教室教授。2007年より東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構・機構長を兼務。米国芸術科学アカデミー会員、日本学術会議連携会員。

#### 略歴

1991年、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了。理学博士。専門は素粒子物理学。東北大学大学院理学研究科物理学科助手、ローレンス・バークレー国立研究所研究員、カリフォルニア大学バークレー校物理学科助教、准教授を経て、同大学物理学科MacAdams冠教授。米国プリンストン高等研究所メンバー（2003～2004年）。2002年に西宮湯川記念賞受賞。2007年、文部科学省の世界トップレベル研究拠点プログラムにより発足した東京大学数物連携宇宙研究機構の初代機構長に就任、現在に至る。右の写真は、一辺が2億光年の宇宙空間の構造を模型で示した、同機構作成のペーパーウェイト。



#### 研究テーマ

主な研究テーマは超対称性理論、ニュートリノ、初期宇宙、加速器実験の現象論など。素粒子理論における若きリーダーとして先進的な研究を進める傍らで、一般向け講演など、アウトリーチ活動も盛んに行っている。

#### 著書

著書に、『宇宙は何でできているのか—素粒子物理学で解く宇宙の謎』（幻冬舎新書）、『宇宙は本当にひとつなのか—最新宇宙論入門』『宇宙になぜ我々が存在するのか—最新素粒子論入門』（講談社ブルーバックス）など多数。



## 中央研究所と父との思い出

**川村:** 村山さんのお父様は、かつて日立の中央研究所の主管研究員を務めていらして、村山さんも日立の社宅で育てられたそうですね。お父様は、日立が始めた量子力学の学会「The International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM)」の第1回シンポジウムをまとめた方でもあり、村山さんもそのお手伝いをされたことがあると伺いました。中央研究所にはどんな印象をお持ちですか？

**村山:** 小学校に上がる前は八王子に、その後は小平市の社宅、公団などに移り住み、ずっと中央研究所のそばで育ちましたのでなじみがあります。思い出深いのは、中央研究所で毎年開催されていた夏祭りですね。父に何度か連れて行ってもらったことがありますが、たくさんの夜店が並び、盆踊りや花火大会も催されて、とてもにぎやかでした。父の職場でありながら、公園のようにときどき遊びに行ける場所だと思っていたほどです。

**川村:** 中央研究所は年に何度か一般公開もしていますし、緑が多いので地域住民の憩いの場にもなっています。お父様のお仕事については、どう感じていらしたのですか？

**村山:** 随分好き勝手に、楽しそうにやっている印象でした。家にいるときも、ヘッドフォンで何か音楽を聴きながら計算をしていたり、書き物をしていたり。だから父の職場は、友達のお父さんたちが勤めているような普通の会社とは違うのだろう、と子どもながらに感じていました。

一方で、日立はテレビや電球など、電気製品をつくっている会社だと思っていました。2014年3月に開催された日本物理学会第69回年次大会 市民科学講演会物理学会で川村さんとご一緒させていただいた際に、「日立は社会インフラの会社である」とおっしゃったのを聞いて、大変驚きました。

**川村:** 家電のイメージを持たれている方も多いと思いますが、日立は創業以来、社会インフラを手掛けてきた会社です。B to B (Business to Business) の事業モデルが多いのですが、残念ながら一般の方にはそのようなイメージが湧きにくいかもしれません。ところで素粒子物理学を専攻されたのは、お父様の影響も大きかったのでしょうか。

**村山:** はい。子どもは、親にいろいろと素朴な質問をします。例えば、「空はどうして青いの？」などです。私がそれを父に尋ねると、「太陽から地球に注ぐ光のうち、より波長の短い青い光だけが空気に散らされるからだ」といった具合に、その都度、ちゃんと答えてくれました。ときには、「自分で調べろ」と言って、本を買ってくれたこともあります。不思議だなと思ったときにきちんと理由を説明してもらえる環境に育ったので、自然

科学に対する好奇心が膨らんでいったのだと思います。自分の身の回りにあるものをどんどん細かく分けていったら、原子になり、原子核になり、素粒子になる。さらに突き詰めていくとどうなるのか、その究極の姿が知りたい——今も、そうした素朴な疑問を持ち続けています。もっとも、大学時代は物理学科に在籍していたものの、授業もあまり出ないで、オーケストラ部でコントラバスばかり弾いていたのですが。

## カブリ数物連携宇宙研究機構のこと

**川村:** 村山さんは国内外の職を歴任された後、2007年からは東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構の初代機構長を務められ、米国カリフォルニア大学バークレー校教授と兼任されています。元々は素粒子物理学を研究されていたと思いますが、宇宙物理学の世界に入られたきっかけを教えてください。

**村山:** 大学に入る際に、物質を構成する究極のものである素粒子は何かを解明したいという思いで素粒子物理学を専攻したのですが、大学院を卒業した翌年にCOBE (Cosmic Background Explorer) という観測用の人工衛星 (宇宙背景放射探査機) が捉えた銀河のデータを見て衝撃を受けたのがきっかけです。そのデータとは、宇宙の中の量子論的ゆらぎ<sup>(注1)</sup>の瞬間写真です。これが銀河などの宇宙の構造の元になったのです。この量子論的ゆらぎは、宇宙はマイクロな世界からビッグバンを経て急激に膨張していったことを証明しています。現在、137億光年の宇宙が、元は原子1個よりも小さかったというのだから本当に驚きました。そしてこのとき、大きい宇宙と小さい原子がつながっているのなら、両方を一緒に考えていく必要があるだろうと思ったのです。

**川村:** カブリ数物連携宇宙研究機構では、どのような研究をされているのですか？

**村山:** 機構を立ち上げる際に文部科学省に次の五つの疑問を提示しました。「宇宙は何でできているのか?」、「宇宙はどのようにして始まったのか?」、「宇宙はどのような運命を迎えるのか?」、「宇宙を支配する法則は何か?」、そして「私たちはなぜこの宇宙に存在するのか?」です。これらは、ある意味、人類始めて以来、何千年も人々が抱いてきた素朴な疑問です。その謎の解明に、ようやく科学の手が届くところまで来ています。具体的には、宇宙は均一ではなく、よく見ると網の目のようなフィラメント構造をしています。らせん状に並んでいるところがあったり、ポコッと穴があいて密度が薄いところがあったりしています。そうした宇宙の大規模構造を観測し、コンピュータで再現することにより、宇宙の起源を探っているのです。あるいは、宇宙空間に広がる暗黒物質が重力レンズといって光を曲げる

性質があることを利用して、その分布を測るといった研究も手掛けています。

**川村:** 機構は非常に質の高い研究を実施されていることで注目を集めていますが、競争的資金<sup>(注2)</sup>を獲得するだけでなく、予算の一部にスポンサーシップを活用されていますね。

**村山:** 予算は年間約13億円で、現状はまだ競争的資金がほとんどですが、補助金に頼ってはいは恒久的に研究をしていくことが難しくなります。ですから、スポンサーを探すのは機構長である私の大切な仕事の一つでもあります。スポンサーの一つが米国のカプリ財団です。ここからいただいた寄付金は直接予算に組み入れるのではなく、運用してその運用益を使っています。現在は少しずつ、スポンサーを増やしているところで、先日も光関連の電子部品や機器を製造している浜松ホトニクスから寄付講座のお申し出をいただきました。

**川村:** 競争的資金に頼る以上は、期限内に目覚ましい成果を上げないといけませんね。

**村山:** 言ってみれば、年間10数億円の予算でやりくりする中小企業の社長みたいなものです。予算のほとんどが国からのお金ですから貯金はゼロ。成果が上がらなければ、いずれ国の支援はなくなるでしょう。まさに背水の陣です。もともと、十分な成果が上がれば、継続的に研究を続けることができるでしょう。実際に今、いろいろな成果が出始めているところです。

(注1) 量子力学では、エネルギーはごく短い時間内ではゆらいでいて一定の値を取らない。これを、量子論的なゆらぎと言う。星、銀河や銀河団といった宇宙の構造はこのエネルギーのゆらぎから誕生したと言われている。

(注2) 研究機関や研究者から研究課題を公募し、第三者による審査を経て優れた課題に配分される研究資金。ここでは文部科学省の競争的資金制度などによるものを指す。

## 国際リニアコライダーの役割

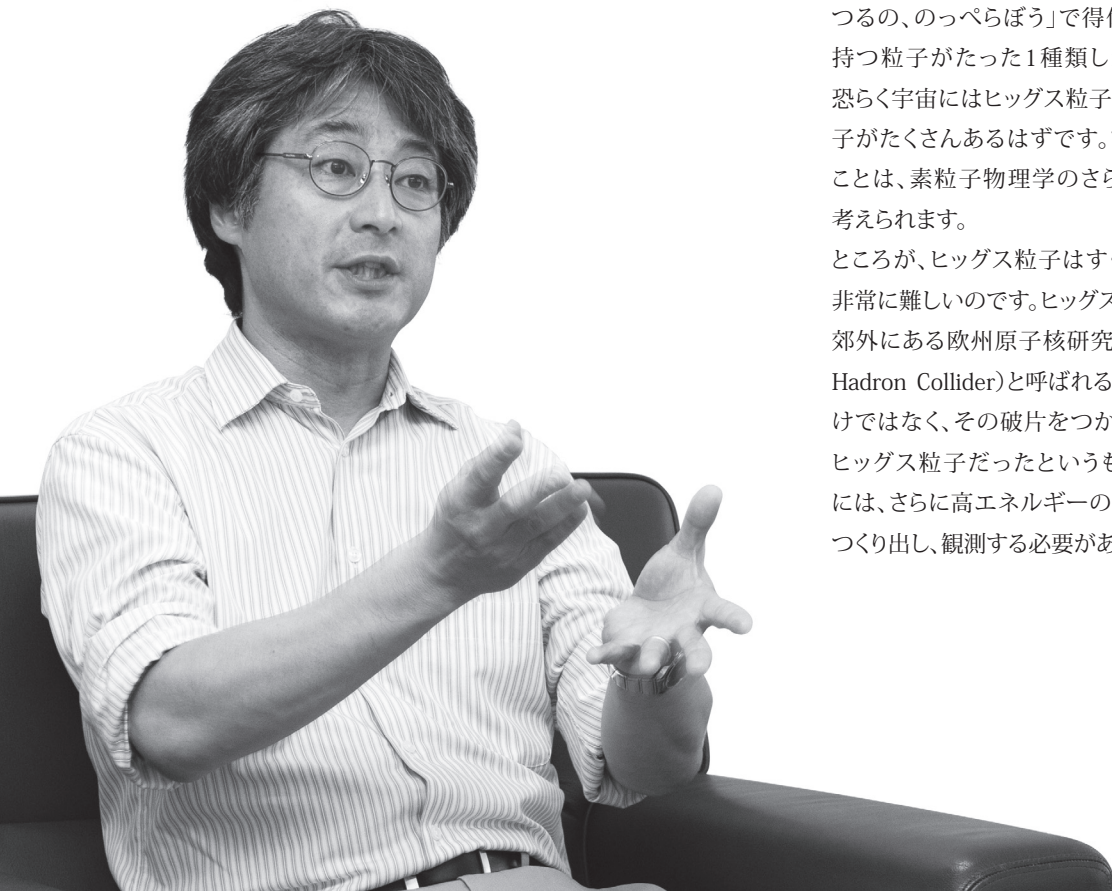
**川村:** 村山さんは、国際リニアコライダー計画にも関わっていらっしゃいますね。リニアコライダーは素粒子物理学の実験手段として非常に有用なものだと思いますが、その目的を教えてくださいませんか？

**村山:** 2年前にヒッグス粒子<sup>(注3)</sup>が見つかって大変な話題になりました。この粒子は宇宙の至るところに詰まっている素粒子で、電子に質量を与えるという大変重要な役割を果たしています。実はこの粒子がないと電子は質量を失って、光の速さで飛んでいってしまいます。つまり、ヒッグス粒子があるお陰で電子の動きが邪魔されてゆるゆる動けるようになり、原子の中を電子は回ることができるのです。ですから、もし、ヒッグス粒子が宇宙から瞬間的にパッと消えてなくなってしまうたら、いきなり電子が光速で飛び出して、私たちの身体は10億分の1秒でばらばらになってしまいます。これほど重要な役割を果たしていて、かつどこにでもあるヒッグス粒子ですが、いまだにその正体ははっきりと分かっていません。その正体を突き詰めることがリニアコライダーの大きな役割の一つでもあります。そして、この謎を解き明かすことが次の世界への扉を開くことになると思います。

**川村:** 次の世界への、とはどのようなもののでしょうか？

**村山:** われわれの世界は電子やクォークなど、さまざまな粒子でできていますが、これまで見つかった粒子は全てスピンといってぐるぐる回る性質を持っています。ところが、このヒッグス粒子だけは回っていない。回る粒子は見る向きによって違いが分かる、つまり目鼻立ちがあるのですが、ヒッグス粒子は「つるつるの、のっぺらぼう」で得体が知れません。こうした特徴を持つ粒子がたった1種類しかない、というのは考えにくい。恐らく宇宙にはヒッグス粒子に似た性質の、兄弟・親戚の素粒子がたくさんあるはずですよ。ですから、ヒッグス粒子を調べることは、素粒子物理学のさらなる突破口を開くことになると考えられます。

ところが、ヒッグス粒子はすぐに壊れてしまう粒子で、観測が非常に難しいのです。ヒッグス粒子を見つけたのは、ジュネーブ郊外にある欧州原子核研究機構(CERN)<sup>(注4)</sup>のLHC(Large Hadron Collider)と呼ばれる加速器ですが、実物を見つけたわけではなく、その破片をつかまえて、よく調べてみたら確かにヒッグス粒子だったというものです。より詳細に調べるためには、さらに高エネルギーの加速器でヒッグス粒子をたくさんつくり出し、観測する必要があるのです。





また、リニアコライダーでは電子と陽電子を加速してぶつけるのですが、この実験を繰り返すことで、宇宙誕生のきっかけとなったビッグバンの1兆分の1秒後の姿を垣間見ることができるようになると思います。どんなに高エネルギーの状態をつくれる加速器でもビッグバン自体を再現することはできませんが、リトルバン程度なら再現できます。それにより、宇宙の始まりに迫ることができるかと信じています。

**川村:** 宇宙の終わりよりも始まりを知るの方が難しいのですか？

**村山:** 終わりもまた難しいのです。実は、星や銀河など原子でできている物質は、宇宙全体の5%にも満たないのです。残り約23%は暗黒物質<sup>(注5)</sup>、約73%は暗黒エネルギー<sup>(注5)</sup>という訳の分からないものでできていると考えられています。この暗黒エネルギーの正体を探らない限り、宇宙の終わりにも迫れないということです。

ちなみに、この暗黒エネルギーは宇宙の膨張を後押しする働きをしていることが分かってきました。今から15年くらい前に、宇宙の膨張が加速していることが判明したのですが、この現象は重力だけでは説明がつかえません。そこで、暗黒エネルギーがその役割を果たしていると考えられるようになったのです。このままどんどん加速が進んでいけば、ある時点で宇宙の膨張が無限に速くなって、引き裂かれて終わりを迎えることになるでしょう。つまり、この仮説に立てば、宇宙には終わりがあるということになる。一方で、暗黒エネルギーの後押しが弱ければ、いずれ減速して、宇宙は永遠に続くかもしれません。観測方法をより進化させ、宇宙の将来を予測するのも、われわれの役割の一つです。

**川村:** 宇宙の終わりは分からないけれど、いずれ太陽は膨張して地球はなくなってしまうのですか？

**村山:** 約45～50億年後の話です。太陽は基本的に水素とヘリウムでできていて、その核融合反応により質量をエネルギーに変えながら燃えています。毎秒50億キログラムの質量をエネルギーに変えています。しかし、そのエネルギーがなくなると、中心がぐしゃっとつぶれて最期を迎えます。その反動で一気に大きくなって、地球を飲み込むほどの大きさになってしまうのです。

ちなみに、膨張により宇宙が引き裂かれるとしたら、それは1,000億年以上後のことと考えられています。

**川村:** ところで、ヒッグス粒子は宇宙の内訳のどこに属しているのですか？

**村山:** どこにも入っていません。だからこそ、世紀の大発見と

騒がれています。物理学者たちが何百年もかけて身の回りのものが何でできているかを調べて、ようやく分かったと思った途端、大どんでん返しを食らってしまったわけです。ヒッグス粒子の発見により、宇宙の謎はまだほとんど解明されていないことが分かってしまった。いったい今までわれわれは何をやってきたのかと、まさにそんな心境です。

(注3) 宇宙を満たしている素粒子で、作用した物質に質量を与えるといわれている。ヒッグス粒子は2012年に発見されたが、その理論的根拠を見いだしたブリュッセル自由大学のフランソワ・アンゲレル氏とエディンバラ大学名誉教授のピーター・ヒッグス氏が2013年のノーベル賞を受賞した。

(注4) ジュネーブの郊外にある素粒子や原子核などの基礎物理学分野におけるヨーロッパの中心的な研究拠点。欧州を中心に21カ国が参加、出資して運営されている。

(注5) 暗黒物質とは、宇宙に存在すると考えられるが、現在の技術では観測はできない仮説上の物質。暗黒エネルギーとは、宇宙の膨張を加速させていると考えられる仮説上のエネルギー。いずれも正体は不明。

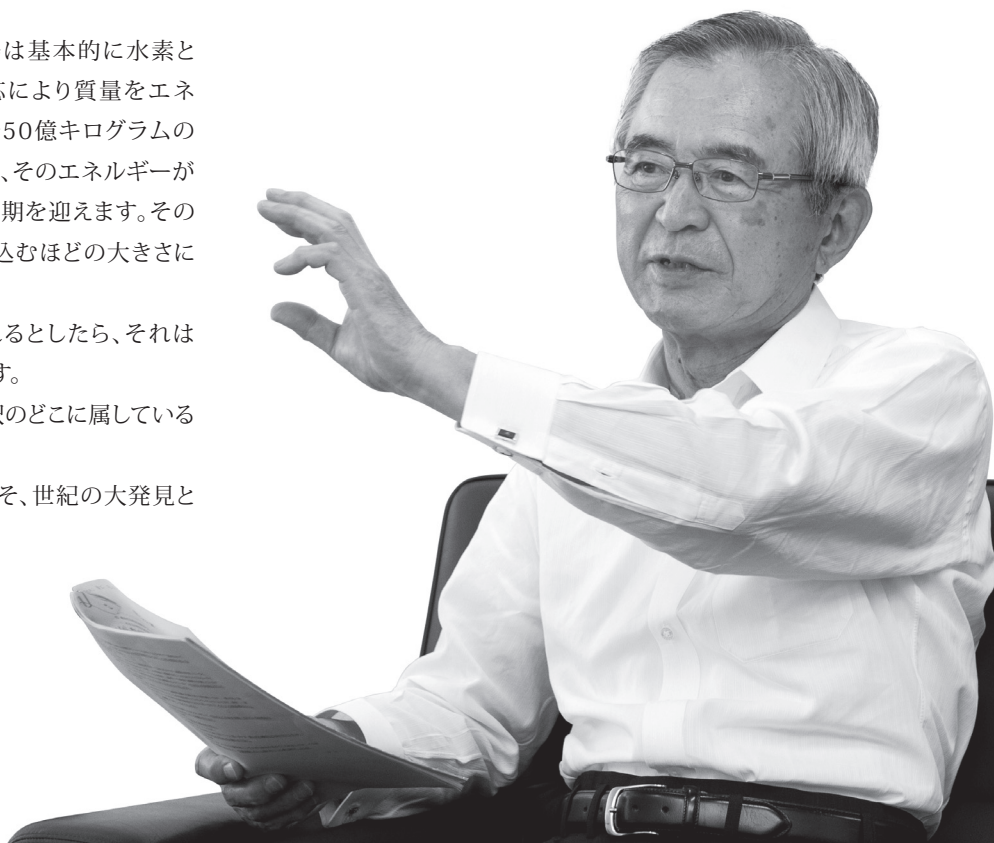
## 世界中から優秀な頭脳を集めるために

**川村:** ところで、カブリ数物連携宇宙研究機構に所属されている研究者の6割が外国人ということですが、村山さんのように兼任の方も多いのですか？

**村山:** ほとんどが専任ですが、兼任の方もいらっしゃいます。東大の教員で海外の機関の職と兼務する人は私が初めてのようですが、最近は増えてきました。

**川村:** 日本の大学もグローバルに人材の流動性が出てきたというのは、非常にいい傾向ですね。海外から優秀な研究者に来てもらうために、機構ではどのような取り組みをされているのでしょうか？

**村山:** まず、一番大事なことは、研究所の理念を説くことです。天文学と物理学、数学を融合して宇宙の謎に迫るという当機構





の独自の考え方を知っていただき、理念に共鳴する人に呼びかけるのが第一歩です。次に、きちんと条件を提示すること。残念ながら日本の大学は米国の大学よりも条件が悪いので、交渉が必要になります。

そして三つ目が、生活のサポート体制を整えること。私自身、20年間米国に住んでいて、いざ日本の研究所に籍を置く際にも苦労しました。まず日本の銀行に口座を開設し、給料の振り込みの手続きをしてクレジットカードをつくらうとしたのですが、クレジットカードの審査で落とされてしまったのです。40歳を過ぎた社会人なのに、日本での収入の記録が一切ないというのが理由でしたが、日本に来て生活を立ち上げることがいかに大変か、身に染みて感じました。外国人ならなおさらでしょう。サポート体制なくして、単に日本に来てくれと言うだけでは、到底優秀な研究者を雇うことなどできません。

特に重要なのが健康保険の情報です。米国人にとって健康保険は、給料の次に心配の種です。ですからわれわれの機構のウェブサイトでは、日本の健康保険制度について英語で紹介しています。残念ながら文部科学省の共済組合には日本語のウェブサイトしかありません。例えば、日本で盲腸の手術を受けると40万円ほどかかりますが、米国では200万円にもなる。日本の医療費負担は3割だと言うと、米国人はそんなに負担するのかと驚くのですが、日本では医療費自体が安いし、高額医療費については払い戻しの制度もあります。そうした情報を知ると、皆、安心して来てくれます。

また、ビジターで来てもらった際に旅費の支払いを現金で渡すのか、振り込みにするのか、タクシー代は出せるのかなど、細かい所まで事前に説明するようにしています。最初にルールを全て書き出して伝えておくことが肝要です。

**川村:**そのようなことまでやっていらっしゃるのですか。

**村山:**はい。そのような細かいところが実は重要なのです。また、日本の研究者の中には優秀な人がたくさんいるにも関わらず、国際的な発信力が弱く、顔が見えにくいのが現状です。ですから、海外の研究者は、「日本に行くと、研究者として埋もれてしまうのではないかと」恐れています。その恐れを拭い去るために、当研究所では、年間11カ月以上日本にいてはならないというポリシーを定めています。つまり、少なくとも年に1〜3カ月は国際会議に出席したり、他の研究所で共同研究をしたり、外に出る義務を課しているのです。これは外国人研究者にとっては魅力的なポイントになっているようです。ちなみに私自身は、1年の半分は米国です。飛行機で年間30万マイルは飛んでいる計算になります。

**川村:**非常に参考になります。産業界でも日本の発信力の弱さが、競争力の低下を招いています。そこで最近では、日立でも事業部の本社を海外に置くことを検討しています。例えば、鉄道システム事業の本社はイギリスに移転する予定です。そうすることで多様な人材を集めたいと考えています。

**村山:**日立はイギリスで高速鉄道を受注されましたね。

**川村:**10年がかりで受注したのですが、次のステップとしてはヨーロッパ大陸に市場を拡大していきたいと考えています。そのためには、日本から指令を出していたのでは遅れを取ってしまいます。

**村山:**研究の世界でも、それぞれの国で予算を獲得する仕組みが違うので、他国の研究者と共同で仕事をしようとすると、手続きの段階でさまざまな食い違いが生じます。そうした中で重要なのは、双方のシステムがどう違うのかを、きちんと説明することですが、その際に、文化や言葉の違いを認識しておくことが不可欠です。

例えば、以前、米国と日本を結んだあるテレビ会議の場でこんなやり取りがありました。私は米国側にいたのですが、議論が終盤に差し掛かり、「他に何か意見はないですか?」という当方の質問に対して、日本側から「No opinion」という返事が返ってきたのです。すると突然、米国人たちが怒り出してしまった。日本人の感覚としては、「それでいいよ」という肯定の意味で言ったのですが、米国人側は、「意見を言う価値がない」と受け取ってしまいました。それだけの食い違いでもめるわけですから、グローバルなやり取りというのは、本当に難しいと感じています。



## 英語の習得とエリート教育

**川村:** ちょうど英語の話題が出ましたのでお聞きしますが、村山さんはどのようにして英語を身に付けられたのですか？

**村山:** 英語についてはきちんと勉強したというわけではありませんが、それこそ日立のおかげで、父がドイツに4年間ほど海外駐在をした際にドイツ語を勉強する機会に恵まれました。ドイツ語を習得したことにより、外国語と日本語はそれぞれ違う発想の下で体系化された言語であるということを体得できました。

英語を身に付けたのは大学院を出て、米国に渡ってからです。すでに29歳になっていて、最初は全く通じませんでした。レストランに行って水を頼もうとして「ウォーター」と言っても通じず、物の本で読んだ記憶を頼りに「ワラ」と発音してみたら水が出てきた、というような感じです。でも海外に飛び込んでしまえば、とにかくしゃべらないわけにはいきません。しかもすぐに気付いたのは、米国では主張しないと何も考えていないと思われてしまうということです。仕方がないのでしゃべるしかありません。そうこうしているうちに、自然と英語が身に付いたという感じです。

**川村:** 日本の仕事もこれだけグローバルになってきますと、やはりバイリンガルの育成は必須です。日立もグローバル化を掲げ、海外への事業の展開を加速していますが、そのような中で語学の習得は大きな課題となっています。もちろん日本語を学び、日本の文化を知ることは不可欠ですが、一方で世界に通用するバイリンガルのリーダーを育てていかないと、今後、事業展開を進めていく上でますます困ることになるでしょう。少なくとも、2020年の東京オリンピックの開催時には、外国人に尋ねられたら誰もが道を教えられるくらいに国民の英語力のレベル全体を引き上げなければならないと思いますし、海外で仕事をするリーダー層には相応の英語教育を施さなければなりません。

**村山:** おっしゃる通りだと思います。日本の英語教育は、英語を道具として使うための教育になっていません。あれだけ時間を使っているのに、本当にもったいないと思います。

## 「アウトリーチ活動」を手掛ける理由

**川村:** 日本にとっては、基礎研究の水準維持、一般の科学リテラシーの向上も重要な課題ですね。冒頭で話題に出た日本物理学会第69回年次大会市民科学講演会では、村山さんから「宇宙の謎を探る加速器は、粒子線がん治療装置として国民の役に立っている」というお話がありました。その後、私が宇宙の

謎とがん治療というテーマで講演し、うまくタッグを組むことができたように思います。このように基礎研究がさまざまな産業分野で応用され、私たちの生活水準の向上に大きく貢献していることを一般に広く知らしめていく必要があると感じています。

**村山:** 私も常にそうした意識を持っています。特に米国の場合、研究費を申請する際に、ブローダー・インパクト(broader impact)を説明する必要があります。ブローダー・インパクトとは、この研究が自らの研究目的のためだけでなく、他の分野や一般の人々など、広範にわたりどのようなインパクトを与えるか、を意味します。米国では税金を使う以上、成果を社会に還元していかなければならないという意識が非常に強く、私も研究の世界の外を意識した「アウトリーチ活動」に取り組んできました。もっとも宇宙の研究というのは、すぐに世間の役に立つようなものではありません。しかし、一般の人からも大変関心の高い分野であり、特に子どもの科学への関心を高め、理科離れの解消に役立つと思います。当機構を立ち上げた際にも、そのことを公約にしました。

**川村:** そうしたこともあって、『宇宙は何でできているのか』(幻冬舎新書)など、宇宙の謎について一般に分かりやすく書かれたベストセラー本を何冊もお書きになっていらっしゃるんですね。

**村山:** そうですね。それから、当機構は期限付きで始まった研究所でしたが、存続させるためにどうしたらいいのか、機構長としてさまざまな人に相談して回った際に、文部科学省の方から、



「とことん、目立ちなさい」と言われたことがきっかけの一つになっています。まさかそのようなことを言われるとは思っていませんでしたが、本の出版や新聞、テレビに出ることを通じて、広く一般の方に宇宙研究について理解していただくことは、研究を続けていく上で非常に重要なことだと思っています。そうでなければ、「世の中の役に立たない研究など意味がない」と言って、切り捨てられてしまうでしょう。もちろん、面白い映画を見れば、誰かに伝えて共感したいと思うように、面白い研究ができれば、その成果を世の中に広く伝えたいという純粋な気持ちもありますが、一方で、予算獲得のためという世知辛い理由もあるのです。

**川村:** 期限付きで研究をやるというのは、本当に大変なことです。われわれのプロジェクトもやはり3年くらいの単位でやることが多いですね。内容はもっと身近なテーマではありますが。

**村山:** それは大変ですね。身近であっても、日立の場合、スケールの大きなプロジェクトが多いと思いますから。

もう一つ、「アウトリーチ活動」の際に、自分の専門について興味を持っていただくために、大きな問題の中でその研究がどのような位置付けにあるのかを最初に説明するのですが、そうすることで自分の研究を客観的に見つめ直すことができるという利点があります。

**川村:** 私たちも誰かに仕事を頼むときに、全体の中のこういう部分で、これがないと次に進めないのあなたに頼んでいるのだと理解してもらおうようにしています。最初にそうやって意識付けすることは、仕事を円滑に進める上で、非常に重要だと思います。

## 基礎研究の重要性と産学連携

**川村:** 村山さんご自身でご苦労されていらっしゃるように、基礎研究がどのように社会の役立つのかを定量的に示すことは難しい面がありますが、グローバル競争の中での日本の優位性はまさに基礎研究の差にあると感じています。

**村山:** この間、初めて知って驚いたのですが、アジアの国の中で、自国の研究機関の研究者がノーベル賞を受賞しているのは日本だけなのですね。中国人やインド人もノーベル賞受賞者はいますが、彼らは、欧米の研究機関での研究で受賞しています。明治維新を経て、一気に西洋文明を取り入れ、それからほどなくして長岡半太郎や仁科芳雄を、そして昭和に入りノーベル賞受賞者である湯川秀樹を輩出した日本という国は、やはりすごいと感じます。日本人の国民性として、物事の本質を深く探究することに喜びを感じる場所があるのでしょうか。

**川村:** 本当にそう思います。今、アジアの中で最も目覚ましい発展を遂げている中国について、本当にこのまま発展を続けることができるかどうか、世界中が注目しています。中国の発展を妨げる要因があるとすれば、一つは基礎研究の力を付けられるかどうか、もう一つは民間の力を引き出せるかどうか、という2点だと思います。翻って日本は、いずれの要素も満たしているわけですから、その強みを生かして、われわれ民間企業が基礎研究を応用につなげていく役割を果たさなければならないと感じています。





**村山:**素晴らしいことですね。先ほど話題に出た浜松ホトニクス  
の創業者であり現会長の晝間輝夫氏の語録を読むと、起業の  
きっかけは研究をやりたかったからだ、と書かれていて驚き  
ました。だから儲けが出たら研究に回すのだと言う。実際に  
収益の半分以上を研究費に還元していると聞きました。その姿  
勢が、ニュートリノの観測に貢献したカミオカンデ<sup>(注6)</sup>の光電子  
増倍管の開発にもつながっています。私の父も研究を本当に  
好きなように続けていましたが、そうした度量の広い日本企業  
が日本の基礎研究を育ててきたのでしょう。

**川村:**私自身は立場上、研究所に対して「もう少し出口の見える  
研究をしなさい」などと言って、嫌がられていますけどね。もっ  
とも中央研究所には、日立の創業者小平浪平の言葉である「人生  
百年に満たざれど、千年後を憂う」と書かれた書が残されて  
いて、それが一つの指針になっています。

**村山:**それが日立の文化なのですね。しかも、中央研究所の  
人は変人でなければならない、と言います。

**川村:**これも、創業者の一人である馬場叡夫の「高度の発明を  
為すものは変人以外は期待し難い」という言葉に由来して  
いて、今もその伝統が引き継がれています。

ところで基礎研究で言うと、村山さんのお父様は日立の中央  
研究所で、村山さんご自身は大学の研究機関で研究をされて  
いますが、企業と大学、それぞれの役割と関係性については、  
どうあるべきだと思われませんか？

**村山:**大学の立場から言うと、企業は、実際に何かをやること  
した時に、それを実現する技術と力を提供してくれる、とても頼り

になる存在です。例えばすばる望遠鏡計画<sup>(注7)</sup>では、キヤノンや  
浜松ホトニクス、京セラ、三菱電機などと共同で研究を行ってき  
ました。最初、われわれのアイデアをお話すると、企業の方は  
大抵、「そんな無茶なことはできませんよ」と、おっしゃいます。  
ところが議論を進めるうちに、「なんとかできるかもしれない」と  
言って話がどんどん進んでいく。その実行力には本当に頭が  
下がります。企業にとっても、不可能を可能にし、それを事業に  
応用できるなら有益でしょう。

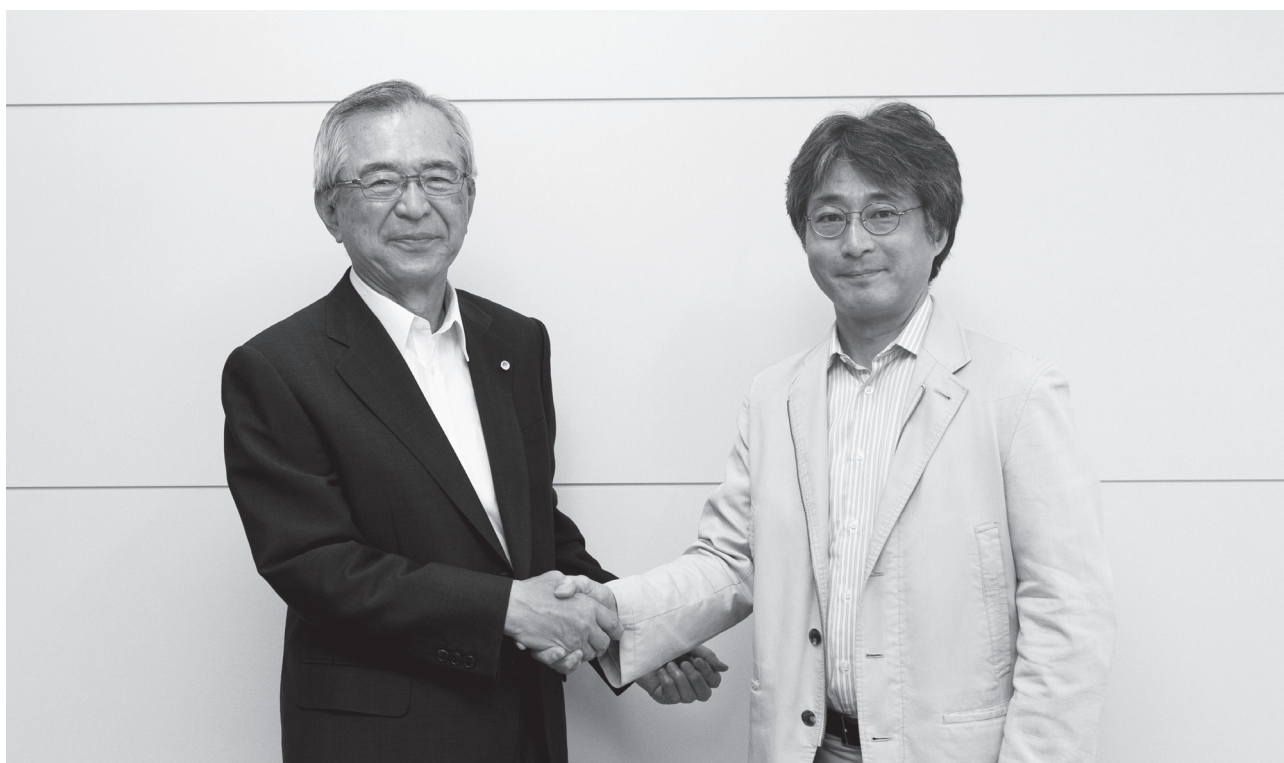
実際に、すばる望遠鏡のカメラの開発で培われた技術が、キヤ  
ノンの場合は半導体の露光装置に応用されたと聞きました。  
10億画素のデジカメをつくったのですが、軽量化しても3tに  
もなるので、筐体に金属ではなく京セラのセラミックを使うこと  
にしました。セラミックは熱膨張率が非常に低く、軽く、頑丈  
なのです。これも今後の事業に生かされることになるでしょう。  
三菱電機も、すばる望遠鏡での経験を生かして、昨年、チリの  
アタカマ砂漠に新しく完成した電波望遠鏡アルマの建設を  
手掛けられました。このように産学連携というのは、お互い有益  
な関係を築くことができる有効な手段と言えます。

**川村:**日立も現在、欧州原子核研究機構(CERN)や高エネ  
ルギー加速器研究所への納入により実績を積み上げてきた  
加速器技術を応用し、粒子線によるガン治療装置など、医療  
機器の開発を手掛けています。

**村山:**重粒子<sup>(注8)</sup>を使うのですか？

**川村:**重粒子もありますし、陽子もあります。重粒子の場合、  
効果的ですが、一方で破壊力が大きいので、小さいガンの





場合は陽子を使います。その他にも共同研究で培ってきた先端技術を、MRI用超伝導電磁石や産業用X線CT装置などの医療機器に応用しています。今後はますます、宇宙の観測のために開発した技術が実際の社会で役立つようになるでしょう。非常に面白いですね。

**村山:** そうした事例がたくさん出てくると、私たちとしても嬉しいですね。競争的資金の獲得のためにも重要なことです。

**川村:** 核融合技術の応用なども、非常に重要と考えています。現在のエネルギー体系において原子力が外せないエネルギー源だと考えると、ウランが枯渇した後のことを想定して、核融合の技術を確立しておく必要がある。日立では今後も、基礎と応用をつなぎ、社会に役立つ事業に取り組んでいきたいと考えています。

(注6) ニュートリノを観測するために岐阜県神岡町につくられた観測装置。大マゼラン星雲で起きた超新星爆発によるニュートリノを検出し、その功績により小柴昌俊東京大学特別名誉教授が2002年にノーベル物理学賞を受賞している。1996年に後継装置であるスーパーカミオカンデが建設されたことでその役目を終えた。

(注7) ハワイ島のマウナケア山頂に設置された大型光学赤外線望遠鏡「すばる」による観測計画。宇宙が誕生して間もない頃にできた古い星の元素組成を調べることにより、各種元素の生成の歴史を解明するなど活躍。

(注8) 放射線治療の分野では、一般にヘリウムよりも重い粒子のことをいう。粒子線による治療では、陽子や重粒子を高速に加速して粒子線として利用する。

## ダイバーシティが突破口を開く

**川村:** ところで、研究の新しいアイデアを考える際の発想法として、何か工夫されていることはありますか？

**村山:** 発想法は人によってスタイルが違うので一概には言えませんが、私の場合は、できるだけ薄く広く物事を知るように心がけています。研究をやっていると、どうしてもある時点で行き詰まってしまうことがあります。そのようなときは、いったん潔く諦めて、しばらく別のことに目を向けるようにします。そちらもしばらくすると、また行き詰まる。そこで改めて前の問題に戻ってみると、別のところで積んだ経験によって壁を打ち破ることができた、ということが今までにも何度かありました。一つのことだけを追究するというのが研究者の王道かもしれませんが、私の場合は、潔く諦めて別のことをやった方が、より生産的だった経験があるので、いつでも役に立ちそうなネタを温めておいて、こっちがダメならあっちに行ってみよう、別のところからアイデアを持ってこよう、といった柔軟性を持つようになっています。

**川村:** なるほど。そうすると、他の専門の方の知見を借りるのも手ですね。

**村山:** そうです。ですから研究所におけるダイバーシティが重要になるわけです。同じ問題に対して、違う専門や文化、手法を持った人から見ると、まったく違って見えたりする。そのようなアプローチの方法があったのかと、大変刺激を受けます。

**川村:** 日立でも、よりダイバーシティが進んだ環境をつくりたいと考えています。研究所で海外の方を雇うだけでなく、取締役に ついても、現在、12名中3名が外国人です。彼らは本当にぎっく



ばらんに発言するので、非常に刺激になります。「どうしてこんなに優秀な人間をいっぱい集めているのに儲からないのか?」と言われたりすることもあります。

**村山:**多様な人が集まるというのはとても有益ですが、一方で、言葉が通じないところから始まるので、やはり苦労は多いですね。

**川村:**使っている用語からして違いますから。逆に、グローバルに仕事をする上では、多角的な検討を重ねることが非常に重要で、取締役会での長い質疑を経ると、これでグローバルに戦えると思えるところもあります。

**村山:**大学ではまだ、そこまでの危機感はないでしょうね。皆それぞれが一国一城の主ですから。一方で企業からすると、大学が変わらない限り、グローバルに活躍できる人材が生まれないという危機感をお持ちでしょうね。

**川村:**大学にはもう少し多様な人材を育ててもらいたいと感じています。博士課程を出て、専門性を持ちながらも、歴史や哲学、経営にも通じているような幅広い教養や知見を持つ人が望ましい。海外の経営者は、そういうタイプの人が多く、財務の専門家から経営者になったのに、日本の歴史や仏教に通じていたりして驚くことがあります。しかも、そういう人はたいていとても優秀なのです。

村山さんの、座右の銘を教えてくださいませんか。

**村山:**あまり意識はしていないのですが、よく使うのは「宇宙という書物は数学の言葉で書かれている」というガリレオの言葉です。つまり、数学という言葉を知らないと、宇宙という書物を読むことはできないというわけです。なぜ宇宙の研究をするプロジェクトなのに数学が入っているのかと不思議がられることがあるのですが、その際に、この言葉を使って説明します。何しろ、宇宙や素粒子の世界では、あまりにも常識外れなことが起こるので、普通の言葉で語ることはできません。先ほどお話ししたように宇宙の膨張は加速していますし、素粒子の世界ではトンネル効果で電子が越えられない壁を越えて染み出して来るといったことも起こる。そうした不思議な現象の前に、われわれは文字通り言葉を失ってしまいます。人間の持っているボキャブラリーは日常生活から生まれたものであって、宇宙や素粒子の世界では使えないのです。普通の言語が使えないのなら、もっと抽象的な言葉で記述するしかありません。そこで使えるのが数学だということです。

これは宇宙の研究に限らず、どんな世界でも同じなのではないでしょうか。新しいことを始めると、今までの言葉では記述できなくなる。そこで新しいコンセプトや方向性を示すための新しい言葉が必要になる。逆に言えば、新しい言葉を見つめられた人が、新しいアイデアやコンセプトを生み出すことができ、次のステップに進むことができるのだと思います。宇宙

や素粒子の研究は、まさしくそれを数学という言葉でやってきた。それが新しい知を生み出すポイントなのではないかと思うのです。

**川村:**なるほど。ガリレオという人はまさにそれを示唆したわけですね。

村山さんはこれまでも研究者として大きな成功を収めてこられました。今後、実現したい夢についてお聞かせください。

**村山:**「大きな成功」とおっしゃいましたが、自分としては、せいぜい二塁打、三塁打を打った程度だと思っています。まだ満塁ホームランは打っていない。やはり満塁ホームランを打ちたいですね。満塁ホームランというのは、この人がいて、この研究がなかったら世界はその先に進まなかったというようなマイルストーンを打ち立てることです。そういう意味では、まだまだ「ひよっ子」だと思っています。

**川村:**そのためにも、やはり機構をいろいろな意味で発展させていかなければなりませんね。

**村山:**はい。自らの研究を進めつつ、機構長として人材や資金を確保し、継続的に研究ができる体制を整える必要があると思っています。

**川村:**応援しています。本日はお忙しい中、ありがとうございました。

## 編集後記

村山さんは、東京大学で博士号を取得されてから、東北大学大学院助手、ローレンス・バークレー国立研究所研究員、カリフォルニア大学バークレー校教授などを歴任されて、現在は東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構の機構長として、最先端の素粒子物理学の研究に取り組まれています。今回は、国際リニアコライダーを糸口として、宇宙は何でできているのか、宇宙を支配する法則は何なのか、宇宙はどんな運命を迎えるのかなど非常に興味深い研究内容について解説していただきました。自らも機構長として世界中から優秀な頭脳を集めるためにさまざまな工夫をしておられ、グローバル化をはじめとしたダイバーシティの重要性を改めて認識しました。また、これまで研究者として大きな成功を収めてこられながらも、さらに大きな成果を求めつつ、機構長の仕事やアウトリーチ活動を進められている姿勢にも大きな感銘を受けました。



## 高いイノベーションで競争優位高める北米

研究第一部 経済グループ 主任研究員 衣笠 一步

「米国の資本、カナダの資源、メキシコの労働力の相互活用」とそのメリットがうたわれた、1994年のNAFTA（North American Free Trade Agreement：北米自由貿易協定）発効から20年が経過した。その間、加盟国である米国・カナダ・メキシコ3カ国間の貿易は拡大し、資本と労働力の自由な移動が進展した。そして、シェール革命や新たな自由貿易協定を契機に、北米経済圏は相互補完関係を強め巨大経済圏へ深化しようとしている。本稿では、2020年を視野に経済・産業の観点から北米経済圏、特にその中心となる米国の優位性について展望する。

### 1. 深化する北米経済圏

NAFTA 発効から20年、米国・カナダ・メキシコ間の貿易は拡大し、資本と労働力の自由な移動が進展した。貿易面では特に米国・メキシコ間が活発化した。メキシコの米国向け輸出対GDP比率は、NAFTA 発効前の1993年8.6%から2013年23.7%へ大幅に伸張した。また、非移民労働力の移動も進んだ。1996年と2013年を比較すると、カナダから米国には特殊技能職や企業内転勤者を中心に入国者が増加し、メキシコから米国には季節（農業）労働者やNAFTA 発効に伴う貿易・投資駐在員の流入が増えた（表1）。

表1 カナダ・メキシコから米国への一時的労働者の流入  
(千人)

		合計	特殊 技能職	季節 労働者	熟練 労働者等	企業内 転勤	NAFTA 関連	その他
カナダ	1996	47.9	4.2	0.1	1.7	7.0	26.8	8.0
	2013	863.8	59.5	5.4	0.3	124.6	42.2	631.9
メキシコ	1996	35.9	5.3	8.8	5.5	4.8	0.2	11.4
	2013	633.6	25.2	190.0	88.3	42.6	79.5	208.1

注：「その他」は科学、芸術、芸能、教育、スポーツ、留学生など  
資料：Department of Homeland Security より日立総研作成

現在、米国、カナダはシェール革命による低エネルギーコスト、メキシコは低賃金の労働力に強みを持つ。特にエネルギー分野では、シェールガスやカナダ・アルバータ州のオイルサンドによる原油の増産、北米をつなぐパイプラインなど輸送インフラの整備がコスト

面で北米の立地優位性を高める。また、2018年ごろまでに成立が見込まれるTPP、TTIPの新自由貿易協定は、成長地域であるアジアとの貿易と投資を増やすと同時に、北米域内の貿易と投資の拡大にも寄与し、北米経済圏の相互連携と産業競争力強化に資する。

各国政府の産業政策も北米経済圏の深化を後押しする。米国・オバマ大統領は就任当初から製造業再興を掲げて、海外展開した米国製造業の生産拠点の北米回帰促進と、技術・資本集約型製造業（Advanced Manufacturing）の育成を志向し、「2016年までに製造業分野で雇用100万人創出」を公約するなど製造業への支援姿勢を打ち出している。メキシコは、2012年に就任したペニャニエト大統領の下でエネルギー政策を転換した。2013年12月にエネルギー改革法を公布し、2014年8月に2次法制を成立させ、国営石油公社Pemex（Petroleos Mexicanos）が今後も独占的に開発を継続する鉱区（ラウンドゼロ）と一般入札の鉱区（ラウンドワン）とを区分した。これにより、技術および資金不足が予想される大水深油田ガス資源やシェールの油井権益が外国企業にも開放されることになった。

北米経済圏は、NAFTA 発効から20年かけて貿易、資本、労働力の相互連携を深め、経済発展してきた。今後は、シェール革命や新自由貿易協定の発効を契機に相互補完関係を強め、巨大経済圏へ深化していく。

### 2. 米国が北米経済をけん引

米国の実質GDP成長率は2015～19年平均2.9%（IMF予測、表2）と、2020年にかけて先進国中で最も高い成長を維持し、北米経済をけん引する。カナダは同2.2%、メキシコは3.7%と、共に潜在成長率程度の成長になる。

表2 米国・カナダ・メキシコの実質GDP成長率(予測)  
(前年比、%)

	13	14	15	16	17	18	19	15～19 平均
米国	2.2	2.2	3.1	3.0	3.0	2.7	2.6	2.9
カナダ	2.0	2.3	2.4	2.4	2.2	2.1	2.0	2.2
メキシコ	1.1	2.4	3.5	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7

資料：IMF より日立総研作成



米国経済は2010年代後半にかけて完全雇用に戻り、金融政策は正常化へ向かう。すなわち、失業率は自然失業率とされる5.2～5.5%程度まで低下し、政策金利であるフェデラル・ファンドレートは、2020年ごろには4.0～4.5%程度まで上昇する。内外金利差から対ユーロ、対日本円ではドル高傾向が継続する。

経常収支はシェール革命に伴う原油輸入の減少が寄与し、経常収支赤字の名目GDP比が2006年6.2%から2013年2.2%へ低下した。引き続き世界最大の純債務国だが、債権の利回りが債務の利回りを上回るため、所得収支は黒字を維持する。シェール増産で原油・天然ガスの純輸出に転じれば黒字転換の可能性もある。2014年の連邦政府財政赤字は、景気回復に伴う歳入増により対GDP比2.8%（13年4.1%）に縮小した。今後財政政策は景気に対し中立的に運営される見通しで、財政赤字は対GDP比横ばいで推移し、財政規律を維持する。

2013年時点の実質GDPの水準は潜在GDPを5%程度下回っているとみられるが、実質GDPが潜在GDPまで回復した2018年以降も潜在成長率2%台半ば程度の成長を維持し、世界最大の経済の位置を保持する。

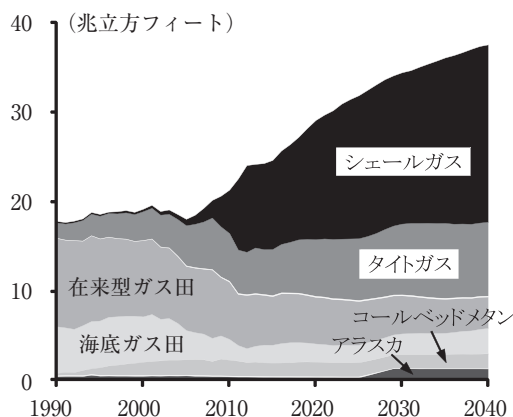
### 3. 競争優位高める北米

#### 3.1 低エネルギーコストにより高まる北米優位

シェールガスやカナダ・アルバータ州のオイルサンドによる原油の増産、北米をつなぐパイプラインなどエネルギー輸送インフラの整備が、コスト面で北米の立地優位性を高めていく。

天然ガス消費量100年分のシェールガス埋蔵量を有する米国では今後も増産が続き、2020年までに天然ガスの純輸出に転換する可能性が高い。エネルギー省エネルギー情報局（EIA）は、シェールガス生産量が2010年4.8兆立方フィートから、2020年11.0兆立方フィート（年平均8.6%）へ増加し、天然ガス全体の生産量も2010年21.3兆立方フィートから2020年26.6兆立方フィート（年平均1.0%）に拡大すると予測している（図1）。また、原油産出量も2020年までにサウジアラビアを抜いて世界最大となる可能性があり、北米は原油・天然ガスの産出面で他地域と比べて優位に立つ。

さらに、北米全体でパイプラインなどエネルギー輸送インフラが整備され、精製面での優位性も高まる。



資料：Energy Information Administrationより日立総研作成

図1 米国天然ガス生産量の推移

シェール関連産業の上流に当たるオイル・ガス産業では、パイプライン建設に加え、鉄道などガス関連設備への輸送ライン、GTL（Gas-to-Liquids）プラントへの投資が拡大する。下流に当たる化学、鉄鋼など、化石燃料関連産業では、特に石油化学産業で天然ガス価格の低下がエチレン製造の大幅なコストダウンをもたらす競争力が向上する。ダウ・ケミカル社が世界最大規模のエチレン工場をテキサス州に新設（2014年6月末から建設開始）するなど、2035年にかけて継続的な設備投資が見込まれる。全米天然ガス協会は、2011～2020年累計で981億ドル、2021～35年で1,071億ドルのインフラ投資が実施されると予測している（表3）。

表3 天然ガス関連インフラ設備投資額

（億米ドル）

	2011～20年	2021～35年
パイプライン	462	515
ガス関連設備への輸送ライン	140	158
採掘井から関連設備への回収ライン	163	254
ガス圧縮・貯留・精製設備	216	144
合計	981	1,071

資料：American Gas Associationより日立総研作成

カナダ・アルバータ州採掘のオイルサンドから回収した原油をテキサス州の製油所まで運搬する「キーストーンXLパイプライン計画」は環境団体などの反対により認可が遅れており、2014年11月18日、米上院では建設認可が承認されず2015年に越年となったが、北米を縦貫し、エネルギーネットワークを形成するパイプラインとして期待される。また、米国アリゾナ州の既設天然ガスパイプラインを延伸し、メキシコが米国国境沿いに向けて新設するパイプラインと連結

させるなど、総延長3,400キロメートルを越えるパイプラインの敷設計画が始動した。多くのパイプラインが2015～17年にかけて操業開始される。

原油・天然ガスが増産され、エネルギー輸送インフラが整備されれば、北米は化石燃料の産出から精製までを一貫して行える地域として産業競争力が向上する。そしてエネルギーの域産域消が可能になれば、石油、ガス、石炭などの需給動向や価格変動を踏まえ、最適なエネルギーミックスを自律的に構築できる。エネルギーの独立性が高まり、安全保障面でも優位に立てる。

## 3.2 新 FTA により米国主導の自由貿易基盤を確立

メキシコは1980年代後半から輸出主導型工業化を進めてきた。NAFTA発効後はマキラドーラ型産業(主力産業である自動車や電子・電気機器産業を指す)が躍進し、今では主要輸出産業となっている。2011年時点で、輸出全体に占めるマキラドーラ型産業のシェアは41%にのぼる。特に自動車産業では、NAFTA加盟以降、完成車メーカーと自動車部品メーカーに対する規制緩和が進展し、対米輸出向け製造拠点としての基盤を固めてきた。自動車生産は米国とメキシコとの間で車種による生産分業が進展し、コンパクト車はメキシコ、SUVなど大型車は米国が生産を担うようになってきている。その結果、メキシコの自動車生産台数(除く大型バス・トラック)は2003年154万台から2013年293万台と、過去10年間で90.4%増加し、タイ(2013年250万台)を上回る世界8位の規模まで拡大している。

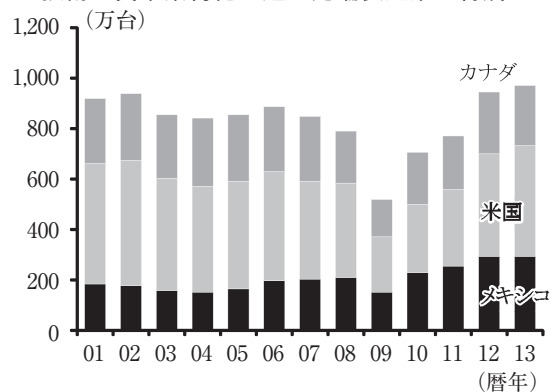
完成車メーカーでは、すでにメキシコで生産を行っているGM、Ford、Chrysler、VW、日産に加え、2014年にマツダが新規進出し、2016年にAudi、Kia(現代)、2019年(操業予定)にBMWの進出も予定されている。すでに進出済みの完成車メーカーや第一次サプライヤー(Tier 1)は工場拡張を計画しており、各社とも賃金水準の低いメキシコの労働力を活用し、価格競争力を高めようとしている。最大の輸出先である北米(米国、カナダ)を中心に、一部をアルゼンチン(2013年輸出台数第5位)など南米か欧州へ輸出する戦略を、各社が採用するようになってきている。

さらに2020年にかけて、第二次サプライヤー(Tier 2)以下の部品メーカーも進出してくる。その結果、メキシコの自動車生産台数は2017～18年に400万台、2020年に500万台へと拡大し、中国、米国、日本、

ドイツ、韓国に次ぐ世界6位、もしくは韓国を抜いて世界5位の自動車生産大国となる可能性がある。

北米全体での自動車増産に拍車をかけるのが、2018年ごろまでに成立が見込まれる環太平洋(TPP)、環大西洋(TTIP)の2つの新自由貿易協定である。新たな自由貿易協定の発効を契機に、経済成長を続けるアジア太平洋地域への接近を強め、また、北米域内の貿易、労働力、資本の移動を活発化させて高水準な自由貿易圏のメリットを広範囲に享受していく。

## 3.3 技術・資本集約化を進め先端製造業を育成



資料：メキシコ自動車工業会より日立総研作成

図2 米国・カナダ・メキシコの自動車生産台数

米国・オバマ大統領が就任当初から掲げる「製造業再興」の方向性は二つある。一つは海外に立地する米国製造業の生産機能を北米に戻すこと、もう一つは製造業の技術・資本集約化を進め、先端製造業(Advanced Manufacturing)への進化を促すことである。

シェール革命による低エネルギーコストの実現は、化学・石油製品・金属・農業などシェールオイル・ガスを利用するエネルギー集約型産業の競争力を向上させる。また、TPP、TTIPなどの新自由貿易協定は輸出製造業の北米における立地優位性を高める。比較優位を失ってすでに海外移転した労働集約度の高い製造業が回帰するのではなく、技術・資本集約型の製造業が北米で生産を行うことの優位性を高める。

二点目は、米国製造業の技術・資本集約化を進め、先端製造業への進化を促すことである。これまで米国製造業は、北米の高賃金でも立地優位性を保てるよう技術・資本集約化を進め、新興国にとって模倣が困難な技術を有する製造業に特化してきた。今後も技術・資本集約化を継続し、製造分野での比較優位を保持していく。

その鍵となるのが分野横断的な技術の融合によるイノベーションの創出である。大統領科学技術諮問委員会内に設置された「先端製造業パートナーシップ (Advanced Manufacturing Partnership)」は、分野横断的な融合技術として①高度なセンシング・計測・工程管理、②新素材の設計・合成・加工、③可視化・情報処理・デジタル製造技術、④(資源有限性の下での)持続可能なものづくり、⑤ナノ製造技術、⑥フレキシブル・エレクトロニクス、⑦バイオ医薬品製造、遺伝子情報、⑧積層造形 (3D プリンタ)、⑨高度な製造および実験装置、⑩産業用ロボット、⑪先端成形加工および接合技術を提起する (表4)。1990年代、IT産業の興隆により経済を拡大させた米国は、ビッグデータ処理を可能とするITをこれら融合技術分野で活用して、製造業のさらなる技術・資本集約化を実現していく。

製造業の技術・資本集約化によって米国の就業構造は大きく変化する。米国労働省の推計によれば、就業者全体に占める製造業従事者の比率は2012年9.1%から2022年7.9%まで低下し、就業者数の85%以上をサービス業が占める「超サービス産業社会」が到来する。米国総人口の1割強を占める移民は主に労働集約型サービス業に雇用吸収される。一方、製造業は技術・資本集約化を進めることによって労働生産性を高め、

同じアウトプットをより少ない就業者で製造可能になる。

#### 4. むすび

本稿では、2020年を視野に北米経済圏、特にその中心となる米国の優位性について展望した。北米経済圏は、1994年NAFTA発効を契機に、貿易、資本、労働力の相互連携を深め経済発展してきた。今後、北米経済圏で予想される変化は以下3点である。一つはシェールガスやカナダ・アルバータ州のオイルサンドによる原油の増産、北米をつなぐパイプラインなどエネルギー輸送インフラの整備が、コスト面で北米の立地優位性を高めていく。二つには、新自由貿易協定の発効が、北米域内の貿易や投資を促進し、米国主導の自由貿易圏が確立されていく。三つには、北米製造業が高賃金でも立地優位性を保つために技術・資本集約化を進め、労働生産性を向上させることによって、同じアウトプットをより少ない就業者で製造可能になっていく。北米経済圏はこれら高いイノベーション能力を通じて優位産業を創出し続け、相互補完関係を有する巨大経済圏へ深化していく。

表4 分野横断的な融合技術と期待される効果・応用分野

技術	期待される効果・応用分野	
高度なセンシング・計測・工程管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 移動型センサーノード</li> <li>● 自動制御技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 生産現場や物流の効率改善</li> <li>● エネルギー効率、安全性向上</li> <li>● ナノ製造、バイオ製造技術への転用</li> </ul>
高機能材料の設計・合成・加工	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 高位合成</li> <li>● 材料設計と情報科学の連携</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 設計期間短縮</li> <li>● エネルギー効率改善、枯渇性資源の代替資源開発</li> <li>● 次世代コンシューマデバイス</li> </ul>
可視化・情報処理技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>● デジタル設計から材料計画・調達やカスタマイズ生産へ直接移行</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 高温での作業や有毒物質を扱う労働者の安全確保</li> <li>● 設計・製造期間短縮、省力化</li> <li>● エネルギー効率改善</li> </ul>
持続可能なモノづくり	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 触媒技術</li> <li>● 廃棄物処理管理、リサイクルシステム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 未利用エネルギーを含む資源利用の最適化</li> <li>● 大量生産大量消費を前提としたモノづくりから、省エネルギーを促す生産形態への転換</li> </ul>
ナノ製造技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ナノ材料</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 次世代エレクトロニクス・コンピューティングデバイス</li> </ul>
フレキシブル・エレクトロニクス	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 軽薄、柔軟性のある技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 次世代コンシューマ・コンピューティングデバイス</li> </ul>
バイオ製造、遺伝子情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>● バイオインスパイアード材料</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ヘルスケア、食の安全</li> </ul>
積層造形	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 3D プリンター</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 製品のカスタマイズ化</li> <li>● 省資源、耐久性向上</li> </ul>
高付加価値な製造・実験技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>● バイオリクター、コンピュータ数値制御など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 経済性向上</li> </ul>
産業用ロボット、自動化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 産業用ロボット</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 組み立て、製品検査の作業効率改善</li> <li>● 高温での作業や有毒物質を扱う労働者の安全確保</li> <li>● バイオ・ナノテクノロジーへの転用</li> </ul>
先端成形加工・接合技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 特殊形状の製造を可能にする鋳造、鍛造、加工、溶接</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 製品のカスタマイズ化</li> <li>● エネルギー効率改善</li> </ul>

資料: Advanced Manufacturing Partnership 「Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing」



## The North American Energy Transformation— Infrastructure is the Key in Unlocking Greater Economic Wealth

Jane Nakano

Senior Fellow

Energy and National Security Program

Center for Strategic and International Studies (CSIS)

*\*Jane Nakano writes and speaks frequently on energy security issues in Asia, global nuclear energy trends, and global natural gas market dynamics. Previously, Nakano was with the U.S. Department of Energy (DOE) and served as the lead staff member on U.S. energy engagements with China and Japan. From 2001 to 2002, she served at the U.S. embassy in Tokyo as special assistant to the energy attaché. She graduated from Georgetown University (BSFS) and Columbia University (MIA).*

North America is a region blessed with a significant level of hydrocarbon resources, and energy has been a critical aspect of relationships among the three regional economies. Meanwhile, the ongoing energy transformation triggered by the U.S. shale revolution has not accorded economic benefits evenly across North America. The energy transformation has generated significant economic benefits for the United States, but it has complicated U.S.-Canada energy relations while largely bypassing Mexico. The regional energy resource wealth suggests opportunities for greater regional economic wealth, but such a bright economic future is not a foregone conclusion. The scope and pace of energy infrastructure development holds a key to the North American ability to gain greater economic benefits from the energy transformation.

### 1. North America's Energy Resource Wealth

All three economies in North America have significant levels of hydrocarbon resources that are unconventional as well as conventional (Figure 1), but the ability to exploit resources varies from a country to country.

Figure 1. Map of basins with assessed shale oil and shale gas formations, as of May 2013



Figure 1. Map of Basins with Shale Oil and Shale Gas Formations  
Assessed for the EIA Study (May 2013)  
Source: U.S. Energy Information Administration

### 1.1 The United States

Successfully unlocking its rich unconventional oil and gas resources, the United States is leading this North American energy transformation with the most prominent changes to its energy production profile. According to the resource survey by the U.S. Energy Information Administration, published in June 2013, the United States has 58 billion barrels of technically recoverable tight oil resources—or 17 percent of world totals—and 665 trillion cubic feet (Tcf) of technically recoverable shale gas resources—or 9 percent of global totals.<sup>1</sup>

The United States has known that it had unconventional oil and gas resources for some decades. However, it was only about a decade ago that production of shale gas became commercially viable. Specifically, the significant resource potential was unlocked by a confluence of factors: 1) the advanced application of technologies like hydraulic fracturing and horizontal drilling; 2) the accumulation of shale production expertise; 3) economically attractive natural gas prices in the 2007-2008 timeframe that stimulated investment interests; 4) existing access to shale resources on private lands; as well as 5) the availability of existing infrastructure such as pipeline networks.

To be precise, even hydraulic fracturing and horizontal drilling are not brand new technologies. For example, these technologies were first applied together commercially in the early 1990s by a small independent company by the name of Mitchell Energy in the Barnett shales in Texas. The practice has subsequently been developed and refined, and has rapidly spread across the United States in the recent years.

With the advent of successful commercial production

<sup>1</sup> U.S. Energy Information Administration, *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources*, June 2013.



of tight oil and shale gas, the energy supply profile of the United States has been changing dramatically. Specifically, between 2006 and 2013, shale gas production rose by almost 900 percent, pushing its share in the U.S. domestic natural gas production from a few percent about a decade ago, to one-third today (Figure 2). This share is expected to grow to about half of the total U.S. gas production by 2040, when production is forecast to exceed 100 billion cubic feet per day (Bcf/d).<sup>2</sup> This robust increase in shale gas production has consequently reversed the declining trends for natural gas production in the United States, resulting in a 34 percent increase in total domestic gas production between 2005 and 2014.

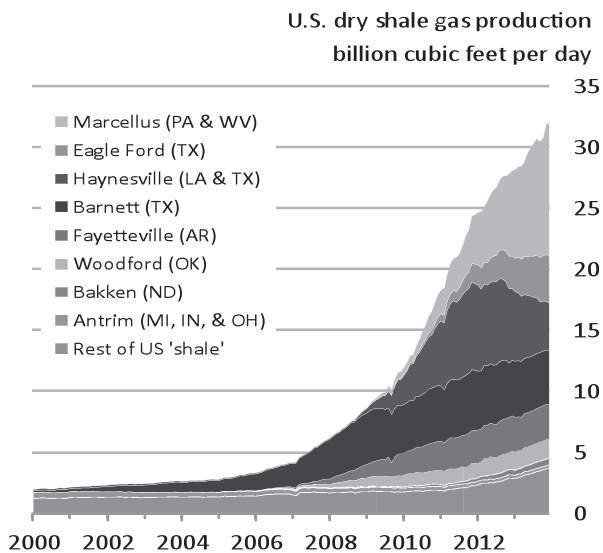


Figure 2. U.S. Dry Shale Gas Production  
Source: EIA derived from state administrative data collected by DrillingInfo Inc. Data are through December 2013 and represent EIA's official tight oil & shale gas estimates, but are not survey data. State abbreviations indicate primary state (s).

The U.S. shale revolution has spread beyond natural gas. The production of unconventional oil in the United States is as well gaining momentum (Figure 3). In 2013 alone, U.S. crude oil production increased by nearly 1 million bbl/d—that volume was larger than the combined increase in the rest of the world in the same year.<sup>3</sup> The growing production of unconventional oil has reversed decades of decline in U.S.

<sup>2</sup> Adam Sieminski, Implications of the *U.S. Shale Revolution* (presentation at the Center for Strategic and International Studies), October 15, 2014.

<sup>3</sup> U.S. Energy Information Administration, *U.S. crude oil production growth contributes to global oil price stability in 2013*, Today in Energy, January 9, 2014.

oil production levels. For example, the U.S. production of unconventional oil more than tripled between 2009 and 2012.

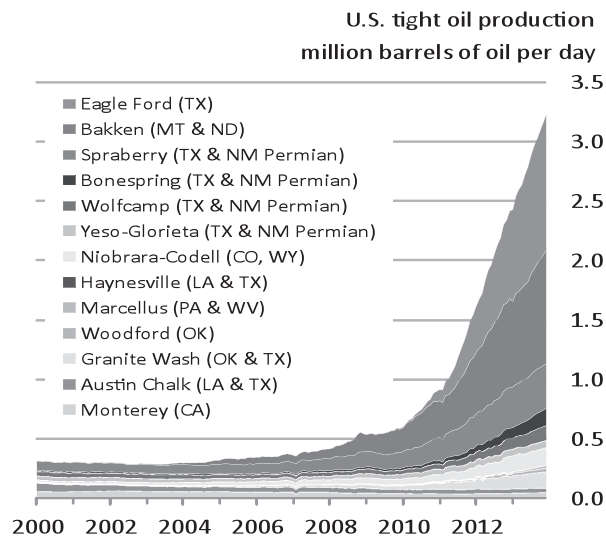


Figure 3. U.S. Tight Oil Production  
Source: EIA derived from state administrative data collected by DrillingInfo Inc. Data are through December 2013 and represent EIA's official tight oil & shale gas estimates, but are not survey data. State abbreviations indicate primary state (s).

## 1.2 Canada

Canada, which is endowed with a rich and varied set of natural resources, is one of the five largest energy producers in the world, behind China, the United States, Russia, and Saudi Arabia.

Last year, Canada produced more than 4 million bbl/d of petroleum and other liquid fuels.<sup>4</sup> Production of unconventional oil in the form of oil sands<sup>5</sup> accounted for more than half of Canadian oil output in 2013 and this share has been on a steady rise in the past decade. Looking into the future, Canadian crude oil production is expected to increase by an average of 4 percent annually through 2030, driven by a strong growth in its oil sands production, which is forecast to grow 2.5 times between today and 2030 (Figure 4).<sup>6</sup>

<sup>4</sup> U.S. Energy Information Administration, ° (Last Updated on September 30, 2014)

<sup>5</sup> The oil sands are permeated with bitumen, which is a form of petroleum in a semi-solid state that is typically found blended with sand, clay, and water in its natural state.

<sup>6</sup> Canadian Association of Petroleum Producers, *Crude Oil—Forecast, Markets & Transportation*, June 2014, p.i.

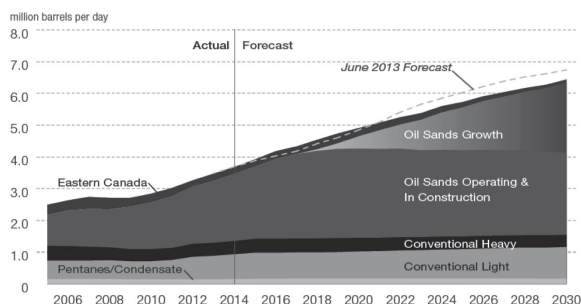


Figure 4. Conventional Crude Oil and Oil Sands Production in Canada  
Source: Canadian Association of Petroleum Producers

The production of the oil sands in Canada was once more expensive than that of tight oil in the United States. However, greater experience and technology improvements have driven down the cost of extracting the oil sands. According to the U.S. Energy Information Administration, in-situ projects in Alberta are estimated to break even at an average of \$64 and mining projects between \$60-\$65 per barrel, while U.S. unconventional oil from the Permian Basin has an estimated cost of \$81 per barrel, Bakken \$69 per barrel, and Eagle Ford about \$64 per barrel.<sup>7</sup>

Canada is also a leading producer of natural gas in the world although the Canadian share of global proven gas reserves is relatively small. The country ranks fifth in dry natural gas production and fourth in natural gas export—only behind Russia, Qatar, and Norway. Meanwhile, Canada is believed to have a significant level of unconventional gas resource base. They include coal bed methane (CBM), shale gas, and tight gas and reside mostly in the WCSB. According to the 2013 resource survey by the U.S. Energy Information Administration, Canada has an estimated 573 Tcf of technically recoverable shale gas resources.

### 1.3 Mexico

Mexico is the other North American cohort that has a significant level of hydrocarbon resource endowment. The country is one of the 10 largest oil producers in the world.

Mexico produced an average of 2.9 million bbl/d of petroleum and other liquids in 2013, including 2.5 million bbl/d of crude oil.<sup>8</sup> This production level, however, is a

<sup>7</sup> Patricia Mohr, *Commodity Price Index*, Scotiabank, February 20, 2014.

<sup>8</sup> U.S. Energy Information Administration, *Country Analysis Brief: Mexico*. (Last Updated on April 24, 2014) The 2014 level is expected to be even lower, but no final account at the time of publication.

significant decline from a peak of about 3.85 million bbl/d in 2004 (Figure 5).<sup>9</sup> Declining production levels have consequently reduced the level of exports. In a decade between 2003 and 2012, the Mexican crude oil exports declined by 59 percent.<sup>10</sup> The production decline is driven by a combination of failing productivity from mature oil basins, chronic failure to invest for future production as well as rising domestic energy demand. For example, Mexico currently depends on mature fields for over 80 percent of its production—a high number when compared to 47 percent in the United States, 51 percent in Canada, as well as a global average of 55 percent.<sup>11</sup> Also, the lack of investment has led to Mexico's proven reserves in 2014 to be roughly 20 percent of what they were in 1999.<sup>12</sup>

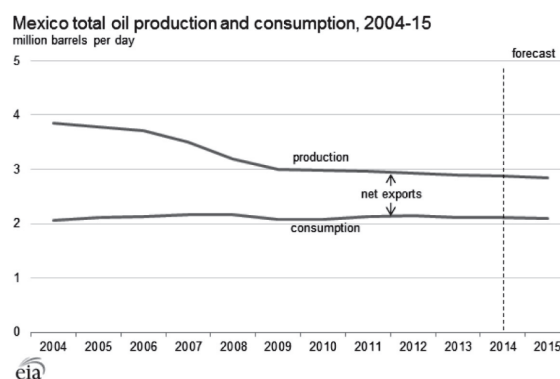


Figure 5. Total oil production and consumption in Mexico, 2004-2015  
Source: U.S. EIA

Meanwhile, Mexico is believed to have sizable deep water resources in the Gulf of Mexico near the U.S. maritime border as well as tight oil and shale gas resources. For example, Mexico's shale gas resources at 545 Tcf is ranked sixth largest of all countries that were examined in the 2013 resource survey by the U.S. Energy Information Administration. Limited technical capability and investment have hindered developing these resources

<sup>9</sup> U.S. Energy Information Administration, *International Energy Statistics*, <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=5&pid=53&aid=1>.

<sup>10</sup> U.S. Energy Information Administration, *International Energy Statistics*, <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=5&pid=54&aid=4>

<sup>11</sup> Amrita Sen and Shweta Upadhyaya, *Awaiting the Mexican Wave*, Oxford Energy Comment, June 2014, p.3.

<sup>12</sup> U.S. Energy Information Administration, *International Energy Statistics*, <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=5&pid=57&aid=6>

to date. Consequently, the gap between Mexico's natural gas consumption and production levels is beginning to widen.

## 2. Energy Trade within North America

Given the hydrocarbon resource profile of the North American economies, energy trade is undeniably a significant factor that brings them together.

### 2.1 U.S.-Canada Energy Relations

Energy trade is one of the most important facets of the economic relationship between the United States and Canada. For example, Canadian crude exports met one third of U.S. crude oil import needs in 2013 (Figure 6)—the volume that constituted about 97 percent of Canadian oil exports the same year.<sup>13</sup>

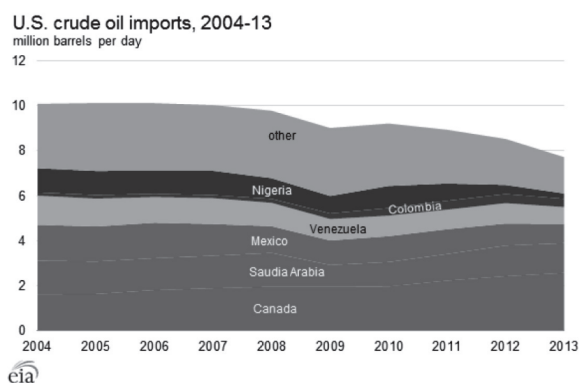


Figure 6. Key Supplies of Crude Oil to the United States  
Source: U.S. EIA

Moreover, the cross-border oil trade is a two-way street. While the United States is a large net crude oil importer from Canada, at 2.6 million barrels per day (bbl/d) in 2013, Canada imported 133,000 bbl/d of crude from the United States the same year.<sup>14</sup> The United States exports crude as well as petroleum products to Canada despite the general prohibition on the export of crude oil produced in the United States because the trade with Canada falls in the narrow scope of exception to the prohibition.

This two-way trade relationship is a result of both the configuration of existing refineries and their geographical placement. Canada sends nearly all of its crude to the United States—Midwest and the Gulf Coast—from its oil production rich western provinces while Canada receives

U.S. crude and energy products in its eastern provinces, which are more densely populated yet have less oil production.

The importance of bilateral energy trade extends to natural gas. Canada is by far the dominant supplier of natural gas to the United States. The natural gas supplies from Canada meet about 97 percent of U.S. import needs and most of the supplies come from resource rich western provinces. Similar to the bilateral trade in crude oil, the United States also exports natural gas to Canada although it is a net importer of Canadian natural gas.

The close energy relations between the United States and Canada translate into strong trade relations. In 2013, the United States exported \$26.7 billion worth of energy goods to Canada—led by \$12.56 billion of petroleum products—and imported \$108 billion worth of energy goods from Canada that same year.<sup>15</sup>

### 2.2 U.S.-Mexico Energy Relations

Energy trade is robust between the United States and Mexico as well.

One of the top 10 leading producers of oil in the world, Mexico regularly ranks as the third largest crude exporter to the United States, after Canada and Saudi Arabia (Figure 6). The country exports about 70 percent of its crude to the United States—the largest destination—and imports from the United States refined products to meet most of its import needs as well as a growing volume of natural gas via pipelines.

Decline in the levels of crude exports due to slowing crude production over the past decade has also reduced Mexico's crude exports to the United States. Since its peak crude export to the United States at 1.6 million bbl/d in 2004, Mexico has exported less and less crude oil to the United States.<sup>16</sup> Similarly, Mexican exports of refined petroleum products to the United States have also declined in recent years, from a high of 132,000 bbl/d in 2010 (Figure 7).<sup>17</sup>

<sup>15</sup> U.S. Census Bureau, *U.S. Exports to Canada by 5-digit End-Use Code 2004 – 2013*. <http://www.census.gov/foreign-trade/statistics/product/enduse/exports/c1220.html> The figures do not include the amount for electricity or nuclear fuel materials, but includes coal and its related fuels.

<sup>16</sup> EIA, *Country Analysis Brief on Mexico*.

<sup>17</sup> Ibid.

<sup>13</sup> EIA, *Country Analysis Brief on Canada*.

<sup>14</sup> Ibid.

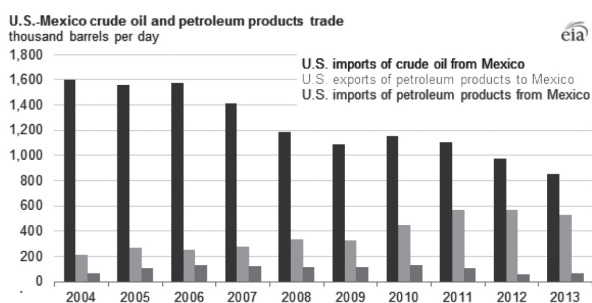


Figure 7. U.S.-Mexico Crude Oil and Petroleum Products Trade  
Source: U.S. EIA

While the total monetary volume of trade between the United States and Mexico in the category of energy goods is far smaller than that between the United States and Canada (\$24.9 billion in U.S. energy goods exports to Mexico and \$34.9 billion in U.S. energy imports from Mexico in 2013), trade statistics suggest the significant role of energy goods in bilateral trade. For example, in 2013, Mexican crude oil supplies at the value of \$31.8 billion was one of the leading imported goods in to the United States, and was a close second to auto parts and accessories, at \$34.7 billion.<sup>18</sup> In the same year, U.S. petroleum product exports to Mexico, at the value of \$14.9 billion, accounted for about 25 percent of the value of U.S. petroleum product exports to the world (\$61 billion).<sup>19</sup>

### 3. Uneven Effects of the North American Unconventional Energy Boom

#### 3.1 The United States as the Clearest Beneficiary

The impact of the shale revolution is changing the place of the United States in the global energy economy. Combined with stricter fuel efficiency standards in the transportation sector and the slow economic recovery in the United States, the growing production of unconventional oil and gas in the United States has been reducing U.S. import reliance since 2005. Specifically, on the natural gas side, the 40 percent increase in the domestic production of natural gas in the United States has translated into a 28 percent reduction in natural gas import levels.

This turn of fortune has led many of the liquefied natural gas terminals that had been permitted or constructed about a decade ago to receive LNG supplies from gas producers

abroad to undergo regulatory and engineering processes to be able to begin shipping U.S. LNG to global markets. Of nearly 20 LNG export projects before the U.S. Department of Energy for authorization to export to countries which do not have a Free Trade Agreement with the United States, about half a dozen have thus far been approved to proceed and the first shipment is expected by the end of 2015.

On the oil side, a 50 percent increase in the domestic oil production has helped reduce the level of U.S. crude import by 16 percent. The impact on U.S. energy imports is thus far most pronounced in the steep reduction of U.S. crude imports from African countries like Nigeria, Angola and Algeria, which produce light sweet crude—the quality similar to the U.S. tight oil.

Moreover, the advent of tight oil production has also reduced the level of U.S. imports of petroleum products. Although the United States continues to be a leading importer of petroleum products such as distillate fuels, propane and gasoline in the world, it is also beginning to export an increasing amount of petroleum products. U.S. petroleum product exports averaged 3.5 million bbl/d in 2013, which was 10 percent higher than the 2012 level.<sup>20</sup>

#### 3.2 Canada's Mixed Blessing

The development of unconventional oil and gas resources in Canada has made the country more resilient as an energy producer, as illuminated in the preceding section.

However, declining U.S. appetite for natural gas imports has begun complicating U.S.-Canada energy trade, which has long been characterized by mutual dependency. Specifically, domestic gas abundance in the United States is reducing the level of U.S. reliance on Canadian natural gas (Figure 8). For example, U.S. gas import from Canada declined from near-peak levels of 3.8 trillion cubic feet (Tcf) in 2007 to 2.8 Tcf in 2013.

Moreover, the shale revolution in the United States has facilitated an increase in the volume of U.S. gas exports to Canada. Between 2000 and 2013, U.S. gas export to Canada grew from 100 billion cubic feet (Bcf) to more than 900 Bcf.<sup>21</sup> The levels of U.S. gas exports to Canada will likely grow given strong prospects for the continued production of natural gas in the United States.

<sup>18</sup> U.S. Census Bureau, *U.S. Exports to Canada by 5-digit End-Use Code 2004 – 2013*. <http://www.census.gov/foreign-trade/statistics/product/enduse/imports/c2010.html>

<sup>19</sup> Ibid.

<sup>20</sup> U.S. Energy Information Administration, *U.S. petroleum product exports increase in 2013*, Today in Energy, April 22, 2014. <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=15951>

<sup>21</sup> EIA, *Country Analysis Brief on Canada*.



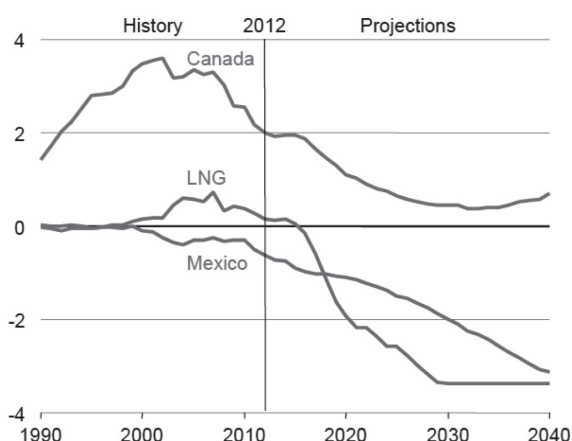


Figure 8. U.S. net natural gas imports by source (reference case, 1990-2040)

Source: U.S. EIA Annual Energy Outlook 2014

Furthermore, the U.S. shale gas revolution has affected the Canadian approach to gas trade outside North America just as it has to the United States. First, the growing production of shale gas at home has diminished Canada's interest in importing LNG and, consequently, most of the plans for LNG terminals have either been cancelled or suspended. Instead, about 20 LNG export ventures are proposed today. An overwhelming majority of these projects are located in the hydrocarbon resource rich province of British Columbia.

The National Energy Board of Canada has thus far issued export license to seven LNG projects,<sup>22</sup> but it remains highly uncertain exactly how many of them will materialize as most of the Canadian projects—unlike those in the United States—are green-field ventures and thus require significant upfront investment. Their commercial success depends largely on how successfully they can control construction related cost inflation as well as overcome opposition by the First Nations.<sup>23</sup> Nonetheless, strong competition is on the horizon between U.S. and Canadian LNG export projects as both eye the lucrative gas markets in Asia, which show continued strong appetite for gas imports.

<sup>22</sup> National Energy Board, *LNG Export Licence Applications*. <http://www.neb-one.gc.ca/pp/ctnflng/mjrpp/lnxprtlncc/index-eng.html> (Last accessed: October 27, 2014).

<sup>23</sup> According to the Canadian government agency of the Aboriginal Affairs and Northern Development, the term "First Nations people" generally refers to the Indian peoples in Canada. <http://www.aadnc-aandc.gc.ca/eng/1100100014642/1100100014643>

### 3.3 Mexico under Pressure

The picture for Mexican energy economy in the age of North American unconventional revolution may be more straightforward in that the unconventional energy boom has largely bypassed Mexico.

For example, Mexico has been slow to take advantage of its shale gas resources despite its significant potential, as noted earlier. Instead, Mexico is becoming increasingly dependent on natural gas imports due to stagnating domestic production and growing domestic demand, particularly in its electricity sector. For example, Mexico's domestic demand has increased about 80 percent since 2000, while its production has grown only by 50 percent during the same period. Mexico relies on U.S. natural gas supplies—which currently arrive via pipelines—for a significant share of its import needs. For example, the United States exported 620 Bcf of natural gas supplies to Mexico, which was about 80 percent of a total Mexican import of 779 Bcf in 2012;<sup>24</sup> the rest is met by LNG supplies from other countries—mainly in the Middle East and North Africa. This share of U.S. exports to Mexico—which is deemed to be in public interest and thus permitted—is equivalent to 38 percent of total U.S. natural gas exports today.<sup>25</sup> Moreover, low gas prices in the United States and Canada appears to be facilitating Mexico's gas consumption.

The bilateral relationship between Canada and Mexico is rather limited in the area of energy in large part as both countries, and particularly their heavier crude, compete for markets in the United States that are increasingly becoming self-sufficient. Also, the geographical separation stands in the way of direct energy transporting infrastructure development and hampers commercially attractive natural gas trade from taking root in the bilaterally.

### 4. Prospects for Greater Economic Wealth

The unconventional energy revolution that has been sweeping across much of North America has brought about a variety of economic benefits. The North American energy transformation has a strong potential to bring even greater economic benefits.

Robust unconventional energy production in the region, including shale gas, tight oil and oil sands, has

<sup>24</sup> EIA, *Country Analysis Brief on Mexico*.

<sup>25</sup> *Ibid.*

significantly drawn global investment interest in upstream opportunities in North America. For example, North America leads the world by having attracted \$392 billion (both capital expenditure and operational expenditure) in 2012 for energy exploration and production activities.<sup>26</sup> Continued investment in unconventional resources is expected to raise the investment level to over \$500 billion by 2016.<sup>27</sup> In comparison, the upstream investment in the Asia-Pacific region, which ranks as the second most attractive region, is driven more by offshore development interest—the total investment in 2012 was \$238 billion; the regional total in 2016 is expected to increase to \$323 billion.<sup>28</sup>

Also, low natural gas prices due to robust shale gas production benefit those which depend on natural gas as feedstock—such as the manufacturers of petrochemicals, cement, glass, fertilizer, aluminum, plastics and steel—by increasing their competitiveness.

For example, over \$115 billion of new investment in petrochemical facilities in the United States has been announced, including a \$4 billion investment by Dow,<sup>29</sup> to take advantage of abundant, cheap natural gas and natural gas liquids feedstock. Interestingly, about 60 percent of such investment comes from non-U.S. companies.<sup>30</sup>

Needless to say, such significant upstream investment as well as manufacturing competitiveness have a significant multiplier effect on the economic condition of the region. According to IHS, by 2012, the unconventional oil and gas activity was supporting over 2.1 million jobs across a vast supply chain.<sup>31</sup>

Looking into the future, various studies suggest that continued success in unconventional energy production could lead to a stronger regional economy.

For example, the U.S. economy will gain 3.3 million jobs by the end of the decade and almost 3.9 million by 2025 from a combination of positive effects of unconventional energy production such as lower oil and natural gas prices, impact on the energy value chains and

a manufacturing renaissance, according to IHS studies.<sup>32</sup> As for U.S. GDP growth, the same studies forecast that the annual contributions of unconventional energy will nearly double from \$284 billion in 2012 to \$533 billion in 2025.<sup>33</sup>

The outlook for economic benefits from unconventional energy production is also strong for Canada. The Canadian oil and gas sector expects continued investment in domestic development and operations through 2022 to sustain 213,000 to 224,400 jobs annually in exploration and production, oil and gas services and pipeline operation in Canada.<sup>34</sup> The figure is higher at an annual average of 894,100 to 1,036,100 when indirect and induced jobs are included.<sup>35</sup>

Mexico also anticipates a stronger macroeconomic position from successful implementation of energy sector reform, which is crucial to Mexico's ability to unlock its unconventional energy potential.

Several U.S. studies on the economic prospects for post-reform Mexico suggest that the energy sector will create over 300,000 direct, indirect and induced new jobs a year,<sup>36</sup> as well as add 0.8 percent to its GDP growth rate and \$20 billion per year of foreign direct investment by 2016 or 2017.<sup>37</sup>

## 5. Infrastructure—Key to Realizing Greater Regional Economic Wealth

The prospect for greater economic wealth from the North American energy transformation, however, is not a foregone conclusion. Energy infrastructure such as pipelines and refineries, and the prospect for updating and expanding them hold a key to a more robust economic relationship among the three North American countries.

### 5.1 Pipelines

The interconnectivity of the pipeline system strongly underpins energy trade between the United States and

<sup>26</sup> IHS, Total 2012 Upstream Oil and Gas Spending to Reach Record Level of Nearly \$1.3 Trillion, April 30, 2012.

<sup>27</sup> Ibid.

<sup>28</sup> Ibid.

<sup>29</sup> Daniel Yergin, *Testimony before the Joint Economic Committee of the United States Congress*, June 24, 2014.

<sup>30</sup> Ibid.

<sup>31</sup> Ibid.

<sup>32</sup> Mohsen Bonakdarpour, *America's New Energy Future (presentation to the CSIS)*, February 27, 2014.

<sup>33</sup> Ibid.

<sup>34</sup> Canadian Association of Petroleum Producers, *Crude Oil: Forecast, Markets & Transportation*, June 2014, p.12.

<sup>35</sup> Ibid.

<sup>36</sup> David H. Petraeus and Robert B. Zoellick, *North America*, Council on Foreign Relations, October 2014, p.22.

<sup>37</sup> Clare Ribando Seelke, *Mexico: Background and U.S. Relations*, CRS report, January 30, (R42917) 2014, p.10.

Canada. The extensive pipeline system connects the centers of Canadian production with refining and export centers in the United States—in the case of oil—and with U.S. markets—in the case of natural gas.

But, a major bottleneck has emerged particularly in the crude oil pipeline system in the United States, in Canada as well as between U.S.-Canada.

Generally speaking, the U.S. crude oil pipeline network was originally designed to move crude oil and petroleum products northward, from the Gulf Coast to Cushing, Oklahoma, and other destinations.

Much of the unconventional oil production in the United States, however, is taking place in North Dakota and Texas, and the existing pipeline network is inadequate to meet the rising levels of crude oil that need to be transported from these areas to where the refineries are. Especially areas like the Williston Basin, which is home to the Bakken formation, that are relatively new to oil and gas production activities, suffer from a severe deficit in pipelines to transport the resources to markets. The lack of sufficient pipelines has caused unconventional oil supplies to be stranded, inducing them to be discounted against global oil prices. For example, the price of West Texas Intermediate (WTI)—US benchmark—had traditionally been higher than Brent—the global benchmark, but it has become discounted against Brent in recent years due to its logistical deficiency.

Many energy industry observers and policymakers have voiced concern that the undervalued crude over a sustained period of time may force producers to delay production or curtail volumes. Such a development could reduce not only oil supplies but also natural gas supplies in the United States, as a substantial portion of U.S. gas production is associated with oil production, significantly diminishing the multiplier effect of lower energy prices on macroeconomic health.

The pipeline system is an issue in Canada, too. Despite the capacity to process 1.9 million barrels per day of crude oil, only about 60 percent of the crude oil processed in Canada is sourced from domestic production not because Canadian production is limited or in trouble, but because refineries in Eastern Canada have limited access to crude oil supplies from the resource rich western Canada.<sup>38</sup> Much of the oil pipeline network from resource rich Western Canada currently serve refineries in Western Canada and Ontario.

<sup>38</sup> Canadian Association of Petroleum Producers, p.11.

Even for existing pipelines, the transport capacity is overwhelmed by growing oil production in Canada and the United States. Pipelines and tanker ships have been the conventional modes of transporting crude. For example, these modes accounted for 96 percent of crude oil movement to refineries between 2005 and 2010.<sup>39</sup> However, as the pipeline capacity continues to be outpaced by rising crude supplies in North America, producers are beginning to turn to railroads, trucks and barges as alternative modes of transporting crude to refineries. For example, the number of U.S. train cars filled with crude oil jumped from around 9,300 in 2008 to 434,000 in 2013.<sup>40</sup> Also, between 2011 and 2012, the numbers of trucks carrying crude to refineries increased by 38 percent and barges by 53 percent.<sup>41</sup>

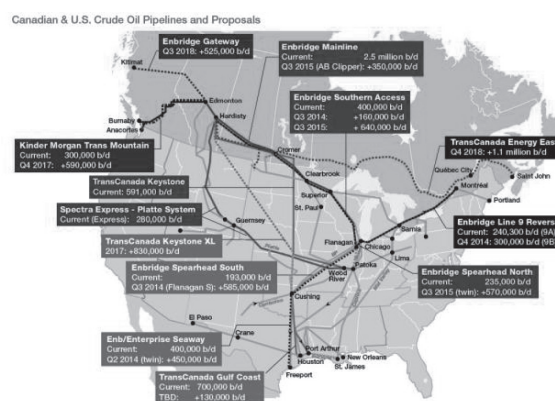


Figure 9. Canadian and U.S. Crude Oil Pipelines and Proposals  
Source: Canadian Association of Petroleum Producers

Reportedly, more than \$40 billion in oil pipelines are either under construction today or being planned for in the coming years (Figure 9),<sup>42</sup> and this development should allow markets to more efficiently match supplies and needs between the United States and Canada. Those recently completed or under construction include several capacity expansion projects by Canadian oil company Enbridge within the United States, TransCanada's Keystone extension from Steele City, Nebraska to Cushing, Oklahoma, as well

<sup>39</sup> Institute for Energy Research, *Oil shipments by rail, truck, and barge up substantially*, September 9, 2013.

<sup>40</sup> Ibid.

<sup>41</sup> Ibid.

<sup>42</sup> Wall Street Journal, *Pipeline Capacity Squeeze Reroutes Crude Oil*, August 26, 2013, <https://id.wsj.com/auth/proxy/refresh?url=http%3A%2F%2Fonline.wsj.com%2Farticle%2FSB10001424127887323838204579003093413317418.html%3FKEYWORDS%3Dpipeline>

as TransCanada's 450-mile southern route for the Keystone XL pipeline—connecting Cushing, Oklahoma to the Gulf Coast.

Those planned or proposed include a capacity expansion plan by Enbridge in 2016, as well as the northern leg of TransCanada Keystone XL, from Hardisty, Alberta to Steele City, Nebraska, and TransCanada's Energy East project.

The northern route for TransCanada's Keystone XL, for which initial applications were filed over five years ago, has undergone route revisions and several studies to determine its environmental impacts. The project continues to wait for completion of the U.S. government review process.

The Energy East, for which formal application documents were filed just on October 30, is a new \$12 billion pipeline system that aims to carry crude oil from Alberta and Saskatchewan to refineries in the east by converting almost 2,000 miles of natural gas pipeline into oil-carrying infrastructure, as well as adding roughly 1,000 miles of new pipeline.

These major pipeline projects are expected to efficiently match specific grades of crude oil to refineries that are designed to process them.

New pipelines are also crucial to boosting natural gas trade between the United States and Mexico. In fact, the pipeline limitation is essentially capping Mexico's natural gas imports from the United States at about 1.4 billion cubic feet (Bcf) per day.<sup>43</sup>

There are now plans to increase the operational interconnections in the U.S.-Mexican gas pipeline network from 13 to 15, to facilitate the supply of U.S. natural gas to Mexico.<sup>44</sup> Also, the Ramones Pipeline, from Agua Dulce, Texas, to Mexico's central industrial area, is expected to allow Mexico to benefit from shale gas from Eagle Ford, Texas. This pipeline with the capacity of 2.1 bcf/d, can potentially carry nearly one-fifth of Mexico's natural gas needs.<sup>45</sup>

## 5.2 Refineries

The refinery system is another infrastructure related challenge and is interlinked to the pipeline woe that is faced

<sup>43</sup> Reuters, *Mexico's Pemex to build most of Ramones II pipeline project*, October 25, 2013. <http://www.reuters.com/article/2013/10/25/mexico-pemex-idUSL1N0IF1UD20131025>

<sup>44</sup> EIA, *Country Analysis Brief on Mexico*.

<sup>45</sup> Reuters, *Mexico's Pemex to build most of Ramones II pipeline project*, October 25, 2013. <http://www.reuters.com/article/2013/10/25/mexico-pemex-idUSL1N0IF1UD20131025>

by the North America.

Within the United States, growing production of low-sulfur light crude from tight oil formations is creating some idle capacity at refineries that were designed to process heavy Canadian or other imported crude. Moreover, refineries in the central United States and Canada have reached saturation and cannot process additional volumes of crude oil.<sup>46</sup> Upgrades and expansions will help alleviate this problem (although some analysts believe that these are not a long term solution to the market saturation issue).

The refining challenge is more prominent in the Mexican energy sector and in the energy relations between the United States and Mexico. Mexico's refinery sector, which has not seen new refinery built since 1979,<sup>47</sup> is in dire need for an update. There currently are six refineries in Mexico and all of them are operated by Petroleos Mexicanos (PEMEX), the state-owned oil company, with a total refining capacity of 1.54 million bbl/d. But, the capacity is insufficient to meet its domestic demand for refined products or to process heavy crudes like its Maya crude.

Although Mexico has one of the lowest crude extraction costs—at \$6.84 (in comparison, industry average costs is \$11.23),<sup>48</sup> a combination of problems like refineries' age, inefficiency, and low capacity utilization have resulted in a net loss of \$6.5 billion to PEMEX in 2013.<sup>49</sup>

In effort to reduce its import dependence for refined products, Mexico plans to improve its domestic refinery capacity by expanding its Tula refinery as well as building a new refinery at the price tag of \$3.5 billion and \$10 billion, respectively.<sup>50</sup>

It is a subject of great debate, however, whether the Mexican refinery sector would ever become competitive enough to make its refined products commercially an attractive alternative to imports from the United States given the country's close proximity to a sophisticated refining center in the United States.

<sup>46</sup> Trisha Curtis, Matt Calderon, Ben Montalbano and Lucian Pugliaresi, *Pipelines, Trains and Trucks*, EPRINC, 2013, p.26.

<sup>47</sup> Amrita Sen, et al., p.13.

<sup>48</sup> Ibid.

<sup>49</sup> Ibid.

<sup>50</sup> David Alire Garcia, *Update 1-Pemex sees \$3.5 bln Tula refinery expansion adding 40,000 bpd*, Reuters, September 23, 2013. <http://www.reuters.com/article/2013/09/23/pemex-ica-idUSL2N0HJ27M20130923>



## 6. Additional Ingredients for Greater Energy Economic Wealth

The locations and capacities of energy infrastructure are important considerations for the North American ability to sustain or expand the energy transformation and to further regional economic wealth. There are several additional issues, many of which in the realm of public policy, that also influence the economic outcomes from the unconventional energy boom, either directly or indirectly, by affecting the scope and speed of needed energy infrastructure build-out.

### 6.1 Productivity of unconventional reservoirs

There remains uncertainty regarding the ultimate potential of unconventional energy reservoirs—especially for tight oil—in the United States. While resource estimates continue to rise for shale gas and tight oil, the history of tight oil and shale gas production is a short one. Generally speaking, shale gas and tight oil wells have very high decline rates. Moreover, legacy decline rates are accelerating in all U.S. oil plays, including Bakken, according to the productivity study by the EIA.<sup>51</sup> Also, production rates for different wells in the same formation can vary by as much as a factor of 10.<sup>52</sup> These geological uncertainties add to the difficulty as well as danger of extrapolating long-term trends for tight oil production in North America. Such general uncertainty can help explain the absence of more active investment into new pipelines, which “typically require a high degree of confidence that shipping volumes can be sustained long enough to amortize a pipeline over 20 years.”<sup>53</sup>

Moreover, much of tight oil output in the United States has been low-sulfur light crude, but there is no certainty that no major alteration will emerge in the mix of crude slates. Such uncertainty can also slow refineries to commit to expansion or upgrade as different slates can lead to varying discounts.<sup>54</sup> It therefore is completely conceivable that producers will prefer the more expensive rail option to pipelines for some time as rail allows for the ability to

select which markets they will sell their crude oil without requiring a long term destination commitment.

### 6.2 U.S. crude export policy

Uncertainties surrounding the future scope of U.S. crude exports may also perpetuate indecision to invest in major energy infrastructure. There currently is a prohibition on the export of crude produced in the United States with a few exceptions. These exceptions include crude oil produced in Alaska’s Cook Inlet, exported to Canada for consumption therein, exports in conjunction with refining or for exchanges of oil in the Strategic Petroleum Reserve, exports of small amounts of heavy crude produced in California, and exports of foreign oil where the exporter can prove that the crude is not of U.S. origin or has not been commingled with U.S. crude.

This ban is comprised of several statutes, including the Energy Policy and Conservation Act of 1975, which was passed in reaction to the oil embargo of 1973. Until recently, the ban on crude oil exports had little impact on U.S. production or prices because demand significantly exceeded domestic supply.

In light of growing tight oil production in the United States, the ban has contributed to varying price discounts for domestic crude benchmarks in the United States, and caused redundancy in refineries that are designed to process imported heavy crude.

Apprehensions surrounding lifting the ban stem from the notion that oil is a strategic asset and export restrictions are vital to U.S. national interests. Also, concern exists that the unabridged exports may raise the price of domestic gasoline.

Several major studies that have come out this year point out, however, that lifting the ban on crude oil exports would add more supply to the global pool of crude oil and drive down the global benchmark that determines gasoline prices in the United States. It remains unclear whether this finding would suffice to persuade those skeptical of lifting the ban, but the momentum for liberalizing U.S. crude oil continues to rise in the nation’s capital.

### 6.3 Mexican energy sector reform

Mexico’s ability to benefit from the ongoing energy transition in North America as well as its scale of future contribution to the greater North American economic wealth will depend significantly on the success of its energy

<sup>51</sup> EIA, “Drilling Productivity Report: year-over-year Summary,” March 2014, <http://www.eia.gov/petroleum/drilling/pdf.summary.pdf>

<sup>52</sup> EIA, “Geology and Technology Drive Estimates of Technically Recoverable Resources,” July 20, 2012, <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=7190>

<sup>53</sup> EPRINC, p.37.

<sup>54</sup> Ibid.

sector reform.

The importance of the oil sector to Mexico is hard to overstate. The oil sector, which accounted for 13 percent of Mexican export earnings in 2012, contributes significantly to the country's fiscal condition. For example, taxes and direct payments from the oil industry provided about 32 percent of total government revenues in 2013.<sup>55</sup>

Growing urgency to address the decline in its domestic oil production and attendant damage to the national economy have finally led the Mexican government to enact in December 2013 constitutional reforms to end the 75-year monopoly of PEMEX. The reform also aims to facilitate greater involvement of international companies in the Mexican energy sector.

Investment as well as technology and technical expertise of international companies are deemed essential to Mexico's ability to take advantage of its shale gas resources, to improve deepwater offshore production, as well as to develop potential reserves. Reportedly, developing Mexico's potential reserves will require some \$830 billion in capital expenditure.<sup>56</sup>

The significant revision by the U.S. Energy Information Administration of its petroleum and other liquids production forecast for post-constitutional reform Mexico illustrates the importance of the reforms for the energy sector (Figure 10).

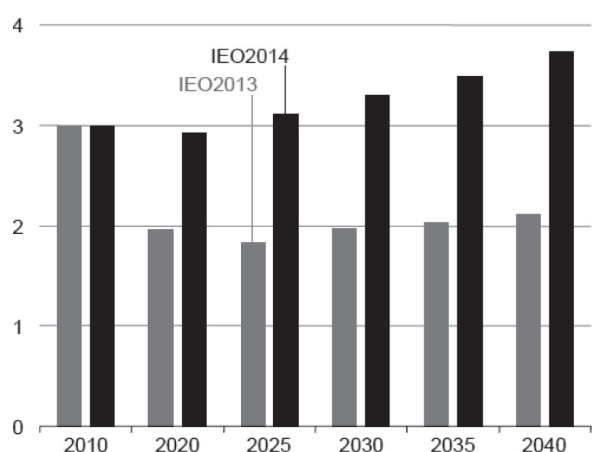


Figure 10. EIA Forecast on Mexican production of petroleum and other liquid fuels through 2040 (million barrels per day)  
Source: EIA, International Energy Outlook 2014

<sup>55</sup> EIA, *Country Analysis Brief on Mexico*.

<sup>56</sup> Amrita Sen, et al., p.3.

The Trans-boundary Hydrocarbon Agreement, which was signed between the United States and Mexico in August 2012, is also expected to facilitate the development of Mexico's deepwater by allowing U.S. companies and PEMEX to jointly develop trans-boundary reservoirs, as well as by opening up resources in the Western Gap that had been under a development moratorium.

Notwithstanding concern that the pace of reform may exceed Mexico's ability to reorganize its energy industry, including its regulatory body which evaluates and awards contracts,<sup>57</sup> the reform is fundamental to Mexico's ability to turn its energy economic fortune around and to become a beneficiary from the ongoing energy transition that has largely defined the North American energy landscape in the recent years.

#### 6.4 Environmental regulations

Environmental regulations is another area of uncertainty that greatly affects the pace and scope of infrastructure build out as well as of oil and gas production activities.

In light of growing public awareness of the climate change problem and attendant increase in public preference for lower carbon emitting sources of energy, natural gas has become a preferred fuel choice for many as it is known to emit about half the carbon dioxide of coal when burned to generate electricity.

But, others question giving a sustained role to natural gas, as it is not an emission-free source of energy. In fact, greenhouse gas (GHG) emissions from energy production has become an intense focus of energy policy debate in the United States and Canada. In particular, shale gas production in the United States and oil sands production in Canada have come under environmental scrutiny for their purported linkage to GHG emissions. For example, the U.S. Administration under Barak Obama has repeatedly expressed interest in regulating methane emissions from oil and gas production activities.

An increasing number of studies have been undertaken in effort to increase collective knowledge on the actual emission rates along the energy production value chain. Such uncertainty explains the political difficulty in going against environmental opposition to energy infrastructure, such as the northern leg of Keystone XL. The earlier focus of its environmental concern was on the pipeline route

<sup>57</sup> Amrita Sen, et al., p.5.

through environmentally sensitive lands, but the focus has shifted to the GHG emissions from production growth of Canadian oil sands.

The future scope of environmental regulation in one country can have broader, regional implications within North America.

## 7. Conclusion

The energy transformation in North America has thus far had uneven impact on the three regional economies. However, there is great potential for more robust economic benefits for all. Successful expansion and modernization of some key pipelines and refining capacities can help address market inefficiencies as well as bring the energy sectors of the three countries closer together. Also, the energy infrastructure build-out is essential for a sustained development of unconventional energy resources and for attendant generation of various economic benefits, such as job creation, and higher GDP growth. Notwithstanding several policy, regulatory and geological uncertainties, North America warrants much attention as a region with great aspirations and prospects for economic growth.



## 自動車産業のメキシコ・米国連携

(一財) 国際貿易投資研究所 (ITI)  
客員研究員 内多 允

(うちだ まこと) 1941 年生まれ。1965 年高崎経済大学卒業。同年 4 月より 2001 年 3 月までジェトロ(日本貿易振興会)勤務。この間にメキシコ(1972-75 年)、ベネズエラ(1983-86 年)駐在。2001 年 4 月—08 年 3 月名古屋文理大学教授。2001 年 4 月より (一財) 国際貿易投資研究所客員研究員

### CONTENTS

1. 経済自由化が促したメキシコ自動車産業の国際化
2. NAFTA が強化したメキシコ・米国の自動車産業連携
3. メキシコの立地評価を高める中国と米国の変化
4. メキシコ・米国製造業の課題

### 1. 経済自由化が促したメキシコ自動車産業の国際化

メキシコでは 1900 年代に米国完成車メーカーが、ノックダウン生産に進出した。メキシコ政府が自動車産業育成に乗り出した時期は、1960 年代である。なお、本稿の自動車は乗用車を対象としている。

具体的には 1962 年に施行された第 1 回自動車令によって、政策が定められた。その主な内容は完成車の輸入禁止と並んで、完成車メーカーに対する年間生産台数の割り当てや国産車生産のための原材料の輸入許可制度が実施されることになった。その後自動車令は第 2 回(1972 年)、第 3 回(1977 年)、第 4 回(1983 年)と改訂されたが、その基本理念は輸入規制や外資規制を通じて、輸入代替政策による国産車メーカーと自動車部品メーカーの自立をめざすことであった。その目的は自動車産業をノックダウン段階から、先進国型の生産形態への発展をめざすことであった。

メキシコの産業政策の転換は 1982 年の対外債務危機が契機となった。累増した対外債務を返済することが不可能な状態に陥り、財政負担を伴う政府主導型の保護主義的な産業政策を継続させることは、不可能な状況に直面した。これを解決するためにメキシコの開発戦略は、対外債務危機打開に主導権を握った国際金融機関が提唱する経済自由化路線に転換した。

1989 年に公布された第 5 回自動車令も、従来の保護主義的な輸入代替策から企業の自由裁量を大幅に認める内容に転換した。メキシコの経済自由化は 1994 年に発効した北米自由貿易協定(略称 NAFTA)によって、加盟国 3 カ国(メキシコ、米国、カナダ)における企業に対する規制措置の撤廃や貿易と投資の自由化が進んだ。経済自由化路線への政策転換は、自動車産業の

性格を一変させた。つまり、保護主義的な時期は国内市場指向型であったが、経済自由化路線が徹底するに伴って、輸出産業に変貌した。経済自由化政策の導入は、対外経済関係においても自由貿易体制が強化された。

その政策手段として、各国との自由貿易協定(FTA)締結に取り組んでいる。メキシコ政府が締結した FTA は 13 に上り、その対象国は 45 カ国(この内、EU が 28 カ国)に達した。メキシコ経済省によれば、FTA 締結国が 40 カ国以上に上ることによって、世界の輸入量の 3 分の 2 に加えて 10 億人以上の消費者へのアクセスが可能になったという。

メキシコの自動車産業において、輸出が如何に重要であるかは次の 2013 年の実態からも示されている。メキシコ自動車工業会(AMIA)の統計によれば、同年の輸出台数は 242.3 万台に対して国内向け販売台数 106.3 万台(国内の販売店向け出荷台数)である。これらの輸出と国内販売向けを合わせた台数は、348.6 万台である。この合計台数に占める前記の輸出台数比率は 69.5%、国内販売台数比率 30.5% である。自動車分野でも輸入が自由化されていることを反映して、国内で販売される自動車(2013 年)の構成比率は輸入車 51%、国内生産車 49% となっている。ちなみに中南米最大の自動車生産国であるブラジルでは、販売台数(358 万台、2013 年)の 80.3% が国内生産車で占め、輸入車は 19.7% である。

メキシコが経済自由化を推進したことによって、賃金コストが先進国に比べて低いことに加えて消費水準が高い米国に隣接していることから、先進国のメーカーはメキシコが輸出商品の生産拠点として有利な立地条件を備えていることに注目した。米国や欧州、日本の自動車メーカーは、次々とメキシコにおける生産拡大に乗り出した。現在、乗用車はすべて外資系 9 社

によって生産されている。

メキシコが海外から受け入れた自動車関連産業向け直接投資は、1989年から1993年の期間においては76.33億ドルであった。一方、NAFTA発足（1994年）から2011年までの期間では367.9億ドルに増加した。これは製造業部門への海外からの直接投資額の24%が、自動車関連産業で占めたことになる。

## 2. NAFTAが強化したメキシコ・米国の自動車産業連携

メキシコと米国の経済関係はNAFTAによって、一層緊密度を増した。その実態を示す一例として、米国がメキシコから輸入する商品の材料には40%の米国産品が含まれているという推定が発表された。一方、中国から輸入される商品に含まれる米国産品はわずか4%であるという（以上の米国産品の比率は、CRS Report, U.S.-Mexico Economic Relations, July 2014 19頁より引用）。

メキシコの自動車生産の担い手は先進諸国の主要メーカーであるが、特に米国メーカーの生産拡大が貢献している。メキシコにおける2007年から2012年における自動車関連産業への海外からの直接投資額は617.4億ドルである。この中で自動車メーカー（すべて外資系9社）による投資額は188.79億ドルに上った。個別メーカーの内訳で最大の投資額は、GMの52.65億ドルである。他の米国企業2社はフォード43億ドル、フィアット・クライスラー11.7億ドルを投資した。これら米国3社の投資額合計は107.35億ドルである。米国系以外の企業の投資額はフォルクスワーゲン20.73億ドル、日産26億ドルとなっている。

メキシコの年間生産台数の国別順位は2009年10位（シェア2.53%）から2010年9位（同3.02%）、2011年8位（同3.34%）と順位を上げてきている。2012年（同3.60%）と2013年（同3.49%）も8位である。なお、この順位は国際自動車工業連合会（略称OICA）のデータで、対象車種に乗用車と小型商用車を含むため、メキシコ自動車産業協会（略称AMIA）の数値と一致しない。先進国の多くの自動車メーカーが、生産コストを低減させるために開発途上国（あるいは新興国）に生産プラントを移転させてきた。米国メーカーも国外への移転を進めてきた。そのために本社所在国

である先進国の生産の伸びは低迷傾向を辿ってきた。米国メーカーの移転先の一つであるメキシコにおける2006年から2011年における自動車生産台数の年平均伸び率は、5.5%である。一方、同期間の米国におけるそれはマイナス5.1%と低迷している。2013年における米国における自動車販売台数（1553.2万台）の原産国別シェア（2013年12月、AMIAが発表した販売台数より算出）によれば、1位は米国・カナダ製（米国における生産とカナダからの輸入の合計）が67.3%（1,045.1万台）を占め、次いで2位日本10.9%（168.9万台）、3位メキシコ10.6%（164.7万台）、4位ドイツ4.8%（74.9万台）、5位韓国4.5%（69.7万台）、6位その他1.9%（29.8万台）となっている（なお、AMIAが発表した販売台数の出所はWord's Automotive Reports）。

既に記したようにメキシコで生産される自動車の販売先は輸出が国内販売を上回っている。メキシコに進出する自動車メーカーが最も重視する輸出先は米国である。メキシコで生産された自動車が、米国に輸出される比率（メキシコ自動車工業会のデータ）は2012年63.9%、2013年68.0%を占めた。

メキシコ中央銀行の統計によれば、自動車関連品の輸出入総額に占めるシェアが高くなっている。2013年のデータ（輸出総額3,801.9億ドル、輸入総額3,812.1億ドル）によれば、輸出では石油が11.3%で最大のシェアを占めた。しかし、乗用車8.5%や輸送機器部品5.4%、エンジン部品0.9%を合わせた自動車関連品のシェアは14.8%となり、石油のそれを上回る最大の輸出品部門を構成している。

輸入総額に占めるシェアが最大の商品は、自動車部品の5.4%である。これに乗用車の2.2%を加えた自動車部門の輸入シェアは7.6%に上る。

米国政府の貿易統計から、自動車部門の対メキシコ輸出入（2013年）を見ると（表1と表2）、米国側の入超（すなわち、メキシコ側の出超）となっている。

自動車メーカーの海外進出の特色として、自動車部品メーカーの進出を促す効果を生むことがあげられる。その結果、貿易においても同様の効果を生む。自動車と同部品の両部門はバリューチェーン（付加価値連鎖）を形成している。メキシコと米国の企業間においても自動車（Automobile）と自動車部品（Autoparts）企業によるバリューチェーン（以下、AAVC）が形成される。AAVCによるメキシコ・米国間の輸出入

統計からも、両国の貿易がかなりの規模を維持していることがうかがえる。

表1 米国の対メキシコ新車貿易 (2013年)

	金額(億ドル)	同シェア(%)	台数(台)	同シェア(%)
輸出	33.0	6.3	153,817	7.9
輸入	276.4	17.7	1,438,017	20.7
収支	-243.4	—	—	—

資料：米国政府統計より作成

表2 米国の対メキシコ自動車部品貿易 (2013年)  
(単位：億ドル)

	金額(億ドル)	同シェア(%)
輸出	265.85	34.3
輸入	420.0	33.2
収支	-154.15	—

資料：表1参照

これらの統計から、メキシコの貿易の対米依存度が依然として高いが(表3)、逆に米国のメキシコに対するそれは高くない(表4)。

表3 メキシコ AAVC の対米輸出入シェア  
(単位：%)

暦年	輸出	輸入
1995	86.60	76.06
2000	92.11	70.19
2005	89.79	56.54
2010	79.91	51.28

資料：Enrique Dussel Peters and Kevin P.Gallagher, "NAFTA's Uninvited guest: China and the disintegration of North American trade, Cepal Review 110, August 2013

表4 米国 AAVC の対メキシコ輸入シェア  
(単位：%)

暦年	輸入シェア	暦年	輸入シェア
1995	14.96	2005	18.42
2000	20.55	2010	21.32

資料：表3参照

メキシコの貿易構造は、世界各国との通商関係への積極的な取り組みによって、徐々に対米依存度が低下する傾向もうかがえる。一方、米国が中国やアジア等の中南米以外と貿易を拡大していることから、少数の品目を除けば、対メキシコ貿易への依存度も特に高いとは言えない。

### 3. メキシコの立地評価を高める中国と米国の変化

米国では製造業海外展開(オフショアリング)から、

国内回帰(リショアリング)の動向が注目されている。これに関してはThe Boston Consulting Group(以下、BCG)が2011年8月に発表したMade in America, Againで、米国と中国の生産コストの差が縮小しており、中国でアウトソーシングされている米国向けの製品の生産拠点が、米国に回帰するということを予想した。

その後もBCGは中国における生産コストの上昇によって、米国やメキシコの優位性を指摘する報告を発表している。本稿ではBCGが2014年8月に発表した報告The Shifting Economics of Global Manufacturing(日本語版は『主要輸出国25カ国の生産コスト比較』)から、米国とメキシコが生産拠点としての国際競争力を高めている状況を紹介する。

この報告では、主要な輸出国25カ国の生産コストを2004年と2014年の両年について比較した。その比較調査によれば、世界各地に生産コストが低い国が分散している。アジア、欧州、アメリカ向け製品は、自国に近い地点での生産が増加する。従って生産拠点は特定国に集中するのではなく、世界各地に分散が進むと予想される。調査対象25カ国は同調査では次の4形態に分類した。すなわち、(1) 新低コスト国(メキシコと米国)(2) 旧低コスト国(中国、ブラジルなど5カ国)(3) 地域内低コスト国候補(インドネシア、イギリスなど4カ国)(4) 劣勢国(オーストラリア、フランスなど6カ国)の4グループである。

各国の生産コストは米国を100として算出されている。生産コストは人件費と電気代、天然ガス代、その他(原材料費、減価償却費等)の4項目を計算、その他は一定と仮定している。各項目の構成比は、全産業を加重平均。データはBCGの分析と関係機関より引用した。2014年の各国の生産コストによれば、メキシコ91に対して中国は96である。先進国は100以上の数値である。例えばカナダ115、日本111、オーストラリア130、イギリス109、ドイツ121である。メキシコと米国が低コスト国として評価された理由としては、賃金の上昇が緩やかであること、持続的な生産性向上、為替レートの安定、エネルギーコストの優位性の4点をあげている。同報告では生産コストの算定項目に関して中国とメキシコについて、次のように分析している(表5)。

賃金は中国では2004年からほぼ5倍に増加したがメキシコの上昇率は67%にとどまった。2000年には



表5 米国とメキシコの生産コスト変化分析

生産性の差を生む 主な要因	各要因の変化		
	米国	メキシコ	平均
賃金	+27%	+67%	+71%
生産性	+19%	+53%	+27%
為替	一定	-11%	+7%
天然ガス価格	-25%	-37%	+98%
電力価格	+30%	+55%	+75%

注：各要因の変化の対象期間は2004年から2014年平均は輸出額上位25カ国の平均

資料：BCG, 主要輸出国25カ国の生産コスト比較, Aug. 2014  
(原題：The Shifting Economics of Global manufacturing)

メキシコの製造業の人件費は中国の約2倍だった。しかし、ドル換算では50%にも達しなかった。中国の生産性はメキシコを上回る伸びを達成したが、メキシコの生産性調整後の人件費は中国よりも13%低い。さらに電力や天然ガスのエネルギーコストの優位性を加えると、メキシコの実生産コストは、中国より5%低くなる。

このようなメキシコの賃金水準が中国のそれより低いことが明らかになることによって、従来は中国に向かってきた企業の投資がメキシコに転じることが考えられる。また、米国でシェールガス生産が拡大していることも、生産コスト引き下げに貢献している。メキシコも天然ガスの供給を米国に依存している。米国とメキシコの隣接している両国の人件費が世界平均を下回る伸びである上に、エネルギーコストも低減されるようになっている。このような生産コストの低下が、米国で製造業のリショアリング(Reshoring)がオフショアリング(Offshoring)に代わって見直される契機となった。また、メキシコを米国企業のニアショアリング(Nearshoring)の対象として見直されていると考えられる。特に、中国の人件費が高騰した上に、政治リスクについても従来よりは警戒する傾向がでてきている。

#### 4. 米国・メキシコ製造業の課題

前記のBCG報告では、米国とメキシコにおける製造業が国際競争力を回復していることを指摘した。米国の製造業が同報告に沿って、国内での投資を拡大するためには楽観できない問題がある。その一つが労働力の確保である。米国企業は生産コストが低い生産

拠点を求めて、海外に移転することによって、従業員を解雇した。NAFTA発効後はメキシコへの企業進出の際、米国内の事業縮小の影響を受けて、解雇が増加した。例えばEconomic Policy Instituteの調査によれば(出所：Heading South, U.S.-Mexico trade and job displacement after NAFTA by Robert E. Scott)、2010年に米国は対メキシコ貿易収支972億ドルの赤字を計上した。そして、米国内で68.29万人が失職した。この内、11.64万人は2007年から2010年の期間に失職した。この失職者の60.8%(41.5万人)は製造業の就労者であった。また15.8%(10.8万人)は自動車・同部品生産部門の、就労者だった。一方同時期にメキシコでは、自動車・同部品の対米輸出の増加によって、3.04万人の新規雇用が生まれた。これに対して米国では2009年から2010年において生まれた新規雇用は2.57万人に過ぎない。一度、解雇して失った就労者を、再び復職させることは困難であるとも言われている。しかも、米国の製造業の成長は停滞しており、雇用の伸びについての見通しも明るくない。米国労働省の予測(Employment Projections—2012-2022, 2013年12月19日発表)によれば2012年から2022年の期間における製造業部門における雇用人口の年間増加率はマイナス0.5%である。それでも2002年から2012年の同増加率マイナス2.4%よりは好転している。同部門の雇用者数は2012年の1,191.89万人から2022年には1,136.94万人へ54.95万人(4.6%)の減少が見込まれている。全雇用者の製造業部門雇用者比率は2002年10.7%、2012年8.2%、2022年7.1%と、低落傾向が予測される。米国政府は製造業の発展を促すという観点からもSTEM(科学、技術、工学、数学)分野の大学卒業者を増やす政策に取り組んでいる。しかし、大学卒業者に占めるSTEM分野の卒業者比率は、不十分であると見られている。その比率(米国National Science Foundationによる)は世界平均が23%で、米国は15%である。メキシコがこれを上回る27%である。

また米国の人口構造も高齢者が増加して、若年層人口の減少傾向が顕著になってきた。このような米国の人口構造、製造業の伸び悩み傾向から、米国製造業のリショアリングへの期待については否定的な見方もある。これを克服するためにも、米国からみて、ニアショアリングの対象になり得るメキシコ企業との連携に活路を見出すことが期待されるだろう。

## Additive Manufacturing Takes Flight

Andrew Durant  
Managing Director, Samuels International Associates,  
Inc.

*\* Please note that the views expressed in this presentation are his own, and do not necessarily represent the opinion of Samuels International Associates, Inc.  
\* Andrew Durant is the cofounder and Managing Director of Samuels International Associates, an international business advisory firm. Prior to entering private practice, he worked on Capitol Hill for Members who served on the House Energy and Commerce Committee and the House Agriculture Committee. He has written extensively on the US-Japan economic relationship, economic interests in Vietnam and Burma, and on the financial crisis. He works in Washington on matters related to the environment, international trade and business and helps clients address problems and opportunities throughout Asia..*

Due to the continued trend of replacing labor with capital, plus the competitive pressures of globalization, manufacturing employment in the United States fell over the past fifteen years from 17.6 million workers to 12 million today. Significantly cheaper oil, gas and electricity prices can bring some energy-intensive manufacturing back to the U.S. At the same time, U.S. enterprises continue to scale the upper-reaches of sophistication in a number of ‘disruptive’ high-end industrial technologies and processes, from high-precision tools to advanced manufacturing. The U.S. government is keen to realize an overarching strategy to ensure American leadership in advanced manufacturing. Especially at a time when economy-wide labor productivity levels have witnessed a degree of slippage, the retention of a high-value manufacturing base and a fertile environment for innovation is an important whole-of-government goal for the Obama Administration. Its ‘America Makes Mission’ is the key policy initiative which aims to foster a collaborative infrastructure for open exchange of additive manufacturing information and research, and thereby accelerate the development and transfer of additive manufacturing technologies to the private sector. This article introduces the significance of additive manufacturing and the transformative possibilities that such technologies embody in modern-day industrial processes.

Since the onset of the Industrial Revolution, machining – and manufacturing – has been a ‘subtractive’ process. A piece of raw material was cut into a desired final shape and size by a controlled material-removal process. A desired outcome, or form, was extracted from a seemingly irrelevant or undesired environment. Since their introduction and emergence in the 1980s, additive

manufacturing technologies has embodied the promise of radically disrupting and transforming this process of machining – and manufacturing. In contrast to ‘subtractive’ processes, additive technologies construct a desired final shape by heaping successive thin layer-upon-layer of the raw material by way of a controlled material-accumulation process. The technology’s promise too appears ready to break out beyond the modeling and prototyping applications to which it has hitherto been confined. Last year, General Electric expressed its intent to dispense with ‘subtractive’ processes in the manufacture of the fuel nozzle for its new aircraft engine and embrace metal additive manufacturing processes instead. As more and more companies embrace the use of additive manufactured parts and components in their final products, the technology is expected to gradually go mainstream.

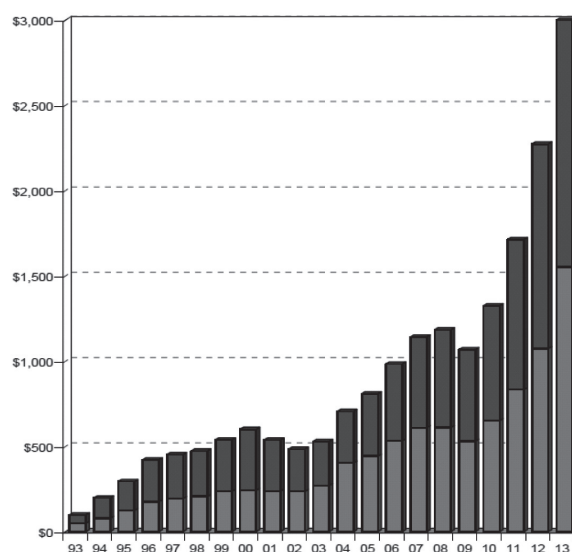
Additive Manufacturing (AM) is officially defined as “a process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing technologies.” In most applications, a digital 3D image is created using a computer-aided design (CAD) system and divided into numerous layers. A 3D printer then prints successive layers of material - the build-tray being lowered by a fraction of a millimeter at a time after each layer is complete. The successive cross-sectional layers are then fused together to create a single object.

At this time, there are seven recognized AM technologies in practice, according to the industry standards agency ASTM. These technologies are based mainly around extrusion (forcing heated thermoplastics through a nozzle into a series of layers), inkjet systems and powder

bed fusion (where electron or laser beams are used to melt and form polymer and metal powders on a horizontal bed). Two earlier approaches, stereo-lithography (SLA) and selective laser sintering (SLS) were pioneered in the 1980s. Additive manufacturing technology, typically, is most commonly used for modeling, prototyping, tooling, short-run production, and series production applications in the aerospace, medical, dental and jewelry sectors. In time, it is anticipated that its usage will expand more broadly within these sectors as well as in the automotive sector—along the way, enabling greater flexibility in design and customization, less scrap and shorter production cycles.

AM appears to have attained critical mass as a self-sufficient industry, enjoying extremely buoyant levels of growth. According to Terry Wohlers, who runs a consulting and research firm specializing in this field, the compound annual growth rate (CAGR) of worldwide revenues produced by all AM products and services over the past 25 years was an impressive 27 percent. In the past three years (2011-2013), that growth rate averaged 32.3 percent. The average selling price of industrial AM systems has been on the rise for three consecutive years too. Further, there has been consolidation within the sector with multiple large-scale mergers, generating greater awareness in the public domain and greater demand for publicly traded stocks of AM system manufacturers. Most share prices and market capitalizations rose impressively throughout 2013.

That said, the industry is still small. The size of the additive manufacturing market in 2013, consisting of all AM products and services worldwide, is estimated to be a mere US\$3.07 billion, according research for *Wohlers Report 2014*, the 16th annual study from Wohlers Associates. This estimate comprises revenues generated in the *primary* additive manufacturing market. This segment consists of all products and services directly associated with AM processes worldwide. *Products* include AM systems, system upgrades, materials, and aftermarket products, such as software and lasers. *Services* include revenues generated from parts produced on AM systems by service providers, system maintenance contracts, training, seminars, conferences, expositions, advertising, publications, contract research, and consulting services.



Source: Wohlers Associates, Inc.

Figure 1: Additive manufacturing products and services revenues (in US\$ million)

The chart above displays revenues in millions of dollars for AM products and services worldwide. The light segment of the bars represents products, while the dark segment represents services. Neither category includes *secondary* processes, such as tooling, molded parts, or castings. The secondary market segment is typically reported separately. As is evident, the gross numbers are still on the smaller side, even though the market has nearly tripled in size over the past four years.

The industry has seen only the tip of the iceberg of what is possible. As Wohlers notes, it is only when the AM sector gravitates towards the manufacture of parts that go into final products across many industries will the sector's potential be fully realized. This is where future opportunities in AM will develop and where serious money is currently being spent.

Key technical factors that are holding back the industry's development are hurdles related to the types of materials – and their properties - that are available, the length of time it takes to produce parts, the use of multiple material and/or color and, in the consumer sphere the lack of simplicity of computer-aided design (CAD) software. At a broader level though, the industry still needs to bridge the cultural gap that exists between the design shop and the factory floor. Reconciling these engineering cultures is not an easy proposition. General Electric's radical bet on fuel nozzles will be a key testing ground to confirm the degree



to which the gap between design shop and factory floor and between AM systems for metal parts and their production applications can be bridged.

In a radical departure from the way it has traditionally manufactured products, General Electric's aviation division, the largest supplier of jet engines in the world, intends to produce all fuel nozzles for its LEAP engine in 2015 using metal AM technology. GE will print the nozzle with lasers rather than cast and weld the metal together to produce it. Because this additive process will use less material than conventional techniques, GE's production cost is expected to be lower and the finished aircraft too will yield weight and fuel savings. Conventional techniques would have required welding about 20 small pieces together, a labor-intensive process in which a high percentage of the material would have ended up as scrap on the factory floor. Now the fuel nozzle will be built from a bed of cobalt-chromium powder into which a computer-controlled laser will shoot pinpoint beams to melt the metal alloy in the desired areas, creating 20-micrometer-thick cross-sectional layers one by one. These innumerable cross-section layers will then be fused together to obtain each fuel nozzle. Mass AM production will follow thereafter. It is anticipated that with 19 fuel nozzles per engine, production will reach 40,000 units annually in six or seven years.

Clearly, the intention to mass produce a critical metal alloy part that is to be used in such an internationally visible and highly safety-conscious industry will be a significant milestone for the technology. And if indeed the computerized design of GE's design engineers does live to see its mass production days, it will also confirm a cardinal virtue that separates additive manufacturing from its 'subtractive' predecessor – that for complex geometries or intricate designs, additive methods can produce a far superior technical and cost-efficient result than subtractive methods. The reasoning is simple. Because the component is 'grown' layer-by-layer a few thousandths of an inch at a time in the additive manufacturing process, each cross-section is extremely detailed and is positioned with precision with each of the constituent sub-parts. The interior of a hollow or open part is constructed at the same time as the exterior too with no additional challenge. The result is an automated component with extremely high design tolerances, both inside and outside, that are suitable for long

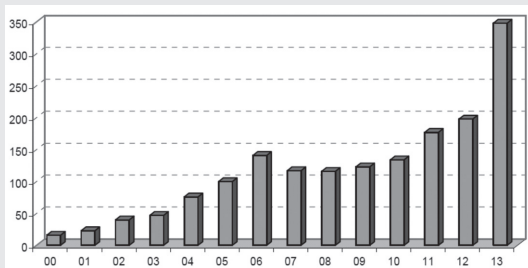
term functional use. By contrast, because of limitations in cutting and routing technology (especially related to hollow parts in a single piece), the amount of detail that can be created on a single conventional machine tool is limited too. Net production outcomes are fractionally less efficient.

So where does the industry go from here and who are expected to be the likely winners? 3D printing is already being used in aerospace and in dental and medical applications, where the benefits of customized structures are fairly easily apparent. Increasingly, 3D printers are expected to work more frequently alongside presses, foundries and plastic injection-molding equipment and take on a larger share of the role done by these machines. As AM systems manufacturers and service providers thereafter gravitate beyond the modeling and prototype applications market segment and increasingly offer solutions for the production of parts that go into final products, AM applications are expected to gain significantly wider acceptance. Key winners will be systems manufacturers and their suppliers, 3D service companies, and large-scale original equipment manufacturers (OEMs) that can integrate additive manufacturing into their processes by way of scale economies.

At the end of the day, it will be at the intersection of computer numerical control (CNC) machine tool making and plastic injection molding that the greatest industrial applications of AM will reside. Organizations that operate in this space will be its greatest beneficiaries. AM technologies will be highly disruptive to traditional manufacturing; it is by no means certain that it will be highly disruptive to traditional manufacturers. To the contrary, traditional manufacturers who are nimble on their feet and open to new ideas will find the embrace of AM to be a complementary – and rewarding – proposition.

### Metal AM takes flight

Within the sector, AM systems for metal parts has seen the most rapid growth of late. As per Wohlers Associates, who has been tracking the market segment for the past 19 years, “sales of metal AM systems increased by 75.8 per cent in 2013 ... 348 of these machines were sold in 2013, compared to 198 in 2012.”



Source: Wohlers Associates, Inc.

Figure 2: Additive manufacturing systems for metal parts (units sold)

Wohlers said, “In some ways, metal AM has come further in 10 years than polymer AM has in 25 years ... and additional opportunities for production metal applications will emerge, so this subset of the industry could possibly grow at a pace that this industry has not seen in the past.”

### Acknowledgement

Thanks to Terry Wohlers\* for his contributions towards the piece.

\* Terry Wohlers is president of Wohlers Associates, Inc., an independent consulting firm he founded 27 years ago. The company provides technical and strategic consulting on the new developments and trends in rapid product development, additive manufacturing, and 3D printing. Through this company, Wohlers has provided consulting assistance to more than 240 organizations in 24 countries. Also, he has provided advice to 150+ companies in the investment community, most being institutional investors that represent mutual funds, hedge funds, and private equity.

Voice from the Business Frontier

Hitachi Mexico, S.A. de C.V. Vice President 満山 真一郎氏

～メキシコの経済構造変化と事業機会～



満山 真一郎(みつやましんいちろう)氏  
1986年日立製作所に入社、資材部  
国際調達課配属。1988年同社国際  
事業本部 輸出火力部(XNT)へ異動。  
以来、アジア、大洋州、欧州向け火  
力発電設備の国際営業に従事。その  
間、英国、香港、タイへ海外駐在。  
2011年より現職

Hitachi Mexico, S.A. de C.V. (日立メキシコ) Vice President の満山真一郎氏に話を伺いました。満山氏は火力発電設備の国際営業を通じ豊富なグローバル・ビジネスの経験をお持ちです。今回は、エネルギー改革・財政改革により経済成長の加速が期待されるメキシコのビジネス環境についてお話しいただきました。

Q1. メキシコにおける日立のビジネスの歴史についてお聞かせください。

日立メキシコの前身は、1959年に開設した日立製作所メキシコ事務所です。1959年という年は当代の天皇陛下ご成婚の年で、その年から私まで、代表は7代目を数えます。中でも2代目の戸田代表は、現地日本人社会でも有名な方で、現在は日墨協会の会長を務めていらっしゃいます。当時、日立はテレビとともに火力発電事業を中心にメキシコへ参入したと聞いています。

約40年前、この国での日立のテレビのシェアは60%だったそうで、メキシコ人からは「テレビで日立の名前を覚えた」とよく聞きます。私がメキシコへ赴任する直前、メキシコのビザ申請の際インタビューに対応した在日メキシコ大使館のメキシコ人領事も、「子どものころ、家のテレビは日立製だった」とおっしゃっていました。

火力発電事業では1970～80年代、石油だきボイラー

やタービン発電機の両方で日立が存在感を示し、三菱重工とこの市場を二分した歴史があります。メキシコは原油産出国のため石油だきの火力発電が多く、日立メキシコの売上の大半は、こうした既設の火力発電用のボイラーやタービン、発電機の補修でした。2027年までの「パワー・デベロップメント・プラン」によると、追加の発電設備容量の約70%近くが高効率で環境にやさしいガスだきのガスタービンのコンバインドサイクルに移行して行く予定です。2014年2月より、火力発電事業は三菱重工との合弁会社、三菱日立パワーシステムズに移管しています。

Q2. メキシコでの日立グループのビジネスの現状についてお聞かせください。

2014年7月1日時点で、日立グループから11社が進出しています。日立オートモティブシステムズはエンジンカバー、オイルポンプ、イグニッションコイルおよびサスペンション、クラリオンはカーオーディオ、日立化成はブレーキパッド、日立金属はブレーキホースを製造、日立ハイテクがそういった自動車部品工場への材料を供給するなど、売上の大半は自動車関係です。日立オートモティブシステムズ、クラリオン、日立化成、日立金属ともに工場を拡張・増設し、売上を伸ばしています。今後、自動車関係ビジネスはさらに成長すると見込んでいます。

Q3. メキシコに赴任された際、これまでの海外経験から他国と比べて感じた違いを教えてください。

標高が高く低酸素という環境に一番苦労しています。標高は、メキシコシティで海拔2,240メートルあり、富士山の6合目にあたります。高山病にかかる人は少ないですが、夜、眠れないと言う人が多いようです。私も、ニューヨークや日本に出張して戻ると、眠



れない日が続きますし、眠りも浅いです。水の沸点も低いので、ラーメンやスパゲッティがおいしくゆであがらない苦勞もあります。また、メキシコの特徴として面白いのは、コカ・コーラの一人あたり消費量が世界一だそうです。同様にファストフードの消費量も多く、12歳以下の児童肥満率も世界一で、課題となっているようです。今まで赴任した国と比べると、治安が極度に悪く、これが気になります。

メキシコでは、街中ではもとより、ビジネスシーンでもスペイン語が多く使われるため、スペイン語を勉強しています。スペイン語は、英語に次ぐ国際語なので、それを勉強できる環境は良いところだと思います。

**Q4. 2012年12月に就任したペニャエト大統領は、経済発展のために構造改革を進めていますが、具体的な政策や目標について教えてください。また、改革に対する国民の反応はいかがですか。**

メキシコ政府の財政は非常に厳しい状況です。2013年のGDPに占める徴税率は、10.6%とかなり低い状況です。他国の徴税率と比較すると、南米のブラジル、アルゼンチンが約3倍、OECD加盟国の平均が約2倍なので、メキシコの徴税率はかなり低いと言わざるを得ません。この低い徴税の背景には、就労人口のうちインフォーマルと呼ばれる法人税や所得税の未払い者の比率や、雇用主の社会保険料未払いの比率が極めて高いことがあげられます。この税金徴収の非効率さが、政府の財政を逼迫させ、老朽化しているインフラに回す資金がない状況を作り出しています。

この低い徴税額のうちの約15～20%は、メキシコ国営石油会社（ペメックス、Petróleos Mexicanos）の石油収益に課されるロイヤルティが占めています。しかし、2005年をピークに、メキシコの石油産出量は減少傾向にあります。かつて先進国がメキシコの油田開発を支配するなかで、1937年の憲法改正により炭化水素資源は国の所有物として規定され、ペメックス1社の独占に変えられました。ペメックスが現在保有する技術では、浅瀬のOff-Shoreまたは陸上のOn-Shoreでしか石油を採掘する能力がありません。石油産出量が減少傾向にあるなか、深海やシェールガス鉍脈が発見されていますが、そこを掘る技術をペメック

スは持っていないため、外国の資本と技術に頼らざるを得ない状況です。今回の憲法改正の骨子は、外国の資本と技術を導入することです。2013年12月、憲法改正法案が通り、現在は2次下位法の個々の案文に関わる法律を変える議論もほぼ完了しています。改革計画はラウンド・ゼロとラウンド・ワンと呼ばれる2つに分けられます。ラウンド・ゼロは、ペメックスが引き続き開発に着手していく区域で、浅瀬のOff-ShoreとOn-Shoreが主要鉍区になります。ラウンド・ワンは、深海とシェールガス鉍脈の油田開発で、外資に開放される領域となります。また、メキシコ電力公社（CFE：Comisión Federal de Electricidad）の改革もあります。今までは、発電と送電をCFE1社が担っていました。独立発電業者（IPP：Independent Power Provider）の事業参画は、90年代はじめに認められましたが、売電先はすべてCFEでした。改革の骨子は、IPPが大口需要家に直接電気を販売できるようになる点です。メキシコは電気料金がいため、売電価格が下がることが期待されています。

ペメックスもCFEも非効率的な経営ですが、かなりの既得権益を持っているので、改革に賛成の意向を示す国民も多いです。既得権益の例としては、48才まで勤めあげるか、勤続20年であれば、生涯年金を受けられる制度があります。このような優遇に対し国民の反発がある一方で、石油事業の大半を外資に占有されることについて国内資源の流出と捉える見方もあり、改革にあたっての匙加減が難しいのも事実です。しかしながら、メキシコ国内技術での対応は限界を迎えており、石油産出量も減少傾向にあるため、外資を入れてでも新たな開発を促進することについて、仕方がないとの見方も増えています。

**Q5. 規制緩和によるビジネス機会についてお聞かせください。**

メキシコは、労働力は安い一方、電力や物流などの非労働関連コストは高くなっています。中央高原地区に日系の自動車関連会社が増えている背景もあり、日系企業がIPP事業として、コジェネレーションの30メガワット級小規模発電所を建設して、直接工業団地に電力や蒸気を供給するというプロジェクトも考えら

れると期待します。「パワー・ディベロップメント・プラン」が示すガスタービンのコンバインドサイクル、コジェネレーションの増加に伴い、IPP 事業は拡大していくと考えられます。

Q6. 米国におけるシェールガス革命により、米国からメキシコへパイプラインが通る計画が進んでいます。メキシコは石油・天然ガスの産出国ですが、このパイプラインが開通すると、どのような影響があると考えますか。

実際、米国からのガスの輸入量は年々増加しています。火力発電プラントも、石油だきからガスタービンのコンバインドサイクルに変更されていく予定です。三菱重工との火力発電事業提携以前、大型ガスタービンを有していない日立は、既設の日立製石油だきボイラーやタービン、発電機のうち、まだ使用可能なプラントについては、「今あるボイラーの石油だきを、ガスだきに改造することができます」と営業したこともあります。今後は、大型ガスタービンを有している三菱重工との協業で、火力発電事業は天然ガス利用の路線にきちんと乗って事業展開していくことが重要です。

Q7. メキシコでは、日産自動車をはじめ多くの日系自動車メーカーが進出し、投資を拡大しています。北米地域におけるメキシコの優位性や魅力についてお聞かせください。また課題についてもお聞かせください。

メキシコの優位性には大きく3つの要素があります。1つは、地理的にメキシコが、北米と南米の大きな市場に挟まれていることです。大西洋にベラクルス港、太平洋はマンサニョー港という貿易港があるため、市場に恵まれた物流の拠点になっています。2つ目は、労働コストの安さです。3つ目は、自由貿易協定(FTA)です。メキシコは、FTA では45カ国との二国間協定を発効しています。こうした国から無税で原材料を輸入し、完成品を無税で輸出できるメリットを有しています。これら3つがあるため、メキシコは輸出生産地の地位をすでに確立していると思います。

メキシコでは、米国ビッグ3、日産、フォルクスワーゲンが30年以上の長きにわたって生産を続け、「これら5社でメキシコの自動車の90%を生産している」と、赴任したばかりのころに聞きました。近年はこれら自動車メーカーの拡張に加え、マツダやホンダ、アウディ、起亜など、多数のメーカーが進出しつつある状況です。他の有力メーカーの参入もささやかれており、いずれグローバルメジャープレーヤーは全て出揃うことになると思います。

一方で課題もあります。まず、治安の悪さです。米国との国境は麻薬取引に絡んだマフィアの抗争地帯になっています。日系企業が進出している中央高原地域も、自動車の置き引き件数が跳ね上がり、日本大使館とメキシコ日本商工会議所が、メキシコ政府に治安改善の働きかけを毎年行っています。

次に、メキシコには労働者利益配分金(PTU: Participación de los Trabajadores en las Utilidades de la Empresa)制度があります。企業は税引き後利益の10%を全従業員に分配しなければならない法律で、何百人もの従業員を抱える企業にとってはこのコスト負担は大変な問題です。2012年12月の労働法改正により、本PTU制度強化の一環として、今まで可能であった派遣会社形態での従業員雇用の禁止および主事業会社としての従業員直接雇用による企業のPTU支払義務の監視強化が行われることとなりました。これが、企業進出の阻害要因になるかもしれません。

労働コストの上昇も懸念されています。メキシコの労働法は、労働弱者を救済する色彩がかなり濃くなっており、会社の業績や従業員個人の成果にかかわらず、給料を下げることは不可能です。高給層は別ですが、一般労働コストは、最低でも前年のインフレ率分は毎年上がりますので、労働コストは上昇傾向です。

現在メキシコでは、自国で製造した車の多くを輸出し、メキシコ国民の多くは、逆にNAFTA(North American Free Trade Agreement)から輸入される中古車に乗っている傾向にあります。所得の増加とともにメキシコ国内向け新車生産が増加する可能性もありますが、これは安価な労働コストが上昇していくことを意味し、両刃の剣と言えます。

Q8. エネルギー、自動車産業以外で今後成長が期待される産業はありますか。

航空産業や医療産業、通信産業などが散見されますが、やはり自動車産業の勢いに比べると見劣りするといったところでしょうか。航空機産業については、積極的な誘致政策によりケレタロ州にカナダのボンバルディアが進出しています。エネルギー改革により、売電やIPP、外資による石油開発にとどまらず基礎化学工業も伸びていく可能性もあります。

Q9. メキシコは、45カ国とのFTA締結に加えて、環太平洋パートナーシップ（TPP）や環大西洋貿易投資パートナーシップ（TTIP）への参加を表明しています。メキシコにとってのメリットは何ですか。

既にFTAを交わしている国がほとんどであり、自由貿易を新たに増やすことのデメリットは少ないとみられます。日本は自動車や電気製品の輸出を増やしたくても、農産物への影響があるのではという反対の声があります。メキシコではそういった抵抗はなく、今までやってきた貿易自由化の延長として引き続き進めていくと考えられます。

南米諸国とのビジネス上の交流では、例えば太平洋同盟があります。ペルーやコロンビアなどとのFTAを活用し、メキシコ製白物家電などを輸出しているそうです。韓国のLGやメキシコ地場のメーカーがメキシコから家電製品を輸出しています。また、スマートフォンではなく従来型の携帯電話ですが、メキシコ製の携帯電話の同太平洋同盟諸国への輸出増加が顕著になっているようです。今後、太平洋同盟国への輸出は活発になるのではないのでしょうか。一方、米国の大学に留学し、英語を問題なく話すエリートもいます。たとえば、ベメックスのロソヤ総裁はメキシコ人でハーバード大学を卒業した40代の秀才です。メキシコに限ったものではありませんが、今後、米国などで勉強した人材が政治や大企業で力を発揮する可能性はあると思います。

Q10. メキシコにおける日立の事業機会について教えてください。

エネルギー改革をはじめとした政策によりプロジェクトの活性化を見込む、オイル & ガス産業向け設備、送配電設備、交通インフラ、情報インフラ、水処理など、自動車事業を核としながらメキシコ社会にイノベーションを起こすべく、インフラ事業に挑戦していきたいと思います。



# 石炭依存を低下させつつ、エネルギー安全保障確保を図る中国

研究第一部 副主任研究員  
陳 威

2010年、中国はGDP規模で日本を抜き米国に次ぐ世界第2位の経済大国となった。中国经济の高成長に伴い1次エネルギー消費量も増加している。環境問題、資源問題などに対応するため、エネルギーミックスを石炭中心から石油・天然ガスにシフトすることが中国政府の方針だが、国内生産の石油・天然ガスだけでは需要をカバーできず輸入依存度は上昇している。結果としてエネルギー安全保障は最重要課題となっている。中国政府はエネルギー供給源の一極集中を避けるためにも近隣のロシア、中央アジアやアフリカ、オセアニアなどへとエネルギー供給国を多様化している。石油・天然ガスのパイプライン建設と備蓄基地の建設も加速傾向にある。

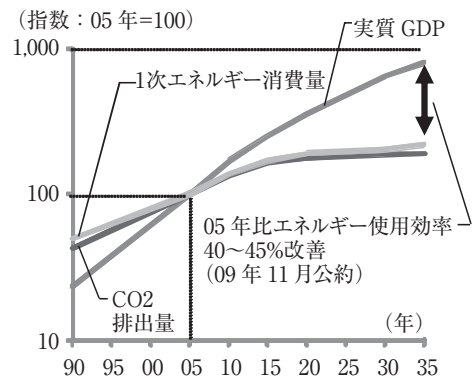
## 1. 石炭から石油、天然ガスへのシフトを推進

1990年から2010年までの20年間、中国では実質GDPの年率約10.5%拡大したのに併せて、1次エネルギー消費量も年率5.2%の高い伸び率で拡大した。1次エネルギー量に占める石炭のシェアが非常に高いため、同じ20年間のCO<sub>2</sub>排出量は年率5.9%と1次エネルギーの伸びを上回って増加してきた。その結果、エネルギー消費は全世界消費量の19.3%を占め、CO<sub>2</sub>排出量も全世界の29%を占める世界最大の排出国(13年現在)となった。持続可能な経済成長のためには、先進国型のエネルギー消費モデルを早急に達成する必要があり、20年までにエネルギー使用効率を05年比40～45%改善する目標を掲げると同時に、CO<sub>2</sub>排出量を1次エネルギー消費量以下の伸びに抑えることをめざしている(図1)。

中国政府は12年12月「天然ガス発展第12次五カ年計画」、13年1月「エネルギー発展第12次五カ年計画」を発表した。一次エネルギーにおける石炭シェアを10年68%→15年63%へ低減、天然ガスシェアを10年2.6%→15年7.5%まで引き上げる目標を掲げている。35年までに粗鋼生産量伸び率は鈍化し、石炭消費の中心は発電へシフトする。これに加え大気汚染問題に対する環境政策などにより石炭需要の占める割合を低下させる(図2)。

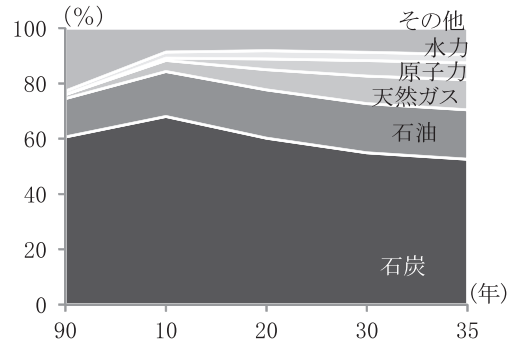
石油消費をけん引するのは自動車産業である。大気

汚染が深刻化し都市部での二輪車電動化、燃費規制を先進国並みに厳格化するなどの政策が実施されるも、現在全人口比7%程度の自動車保有率には今後の成長余地があり、今後も石油需要は拡大する。天然ガスへのシフトも政府は推進しており、発電だけでなく、家庭での暖房でも石炭から天然ガスへのシフトを進める(図2)。



資料：IEA, IMF, “China2030 (世界銀行、国務院)” 資料より 日立総研作成

図1：経済成長、一次エネルギー消費、CO<sub>2</sub>排出量推移



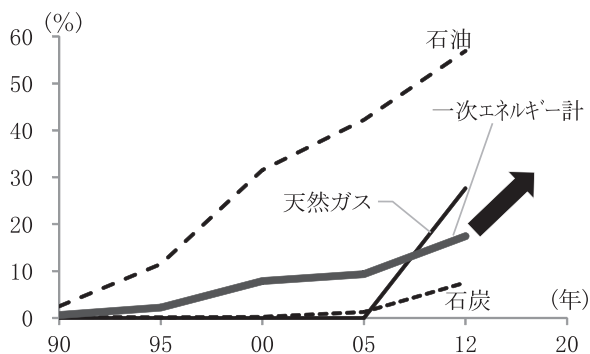
資料：IEA 資料より日立総研作成

図2：一次エネルギー種類別消費量構成比

中国政府は、第11次五カ年計画と第12次五カ年計画において石油・天然ガス資源の探鉱開発強化、原油生産量安定、天然ガス生産加速を織り込み、深海石油・ガス、炭層ガス開発、四川盆地・タリム盆地などの石油・天然ガス資源開発を加速している。一方、非在来型エネルギーのシェールガスは、四川盆地を中心に開発を進めるも、特異の地形などに起因し技術的に難航している。

しかし、石油・天然ガスでは国内資源の開発だけで増加する消費に対応できず、海外輸入に頼っている。

石油輸入依存度は、10年には6割近くまで達した。天然ガスは3割を超えた。天然ガスや石油の輸入増により一次エネルギー全体での輸入依存度が高まり、エネルギー安全保障が課題になっている（図3）。



資料：IEA 資料より日立総研作成

図3：一次エネルギーの輸入依存度

## 2. エネルギー安全保障のため配送・備蓄を重視

エネルギー安全保障確保のために中国政府は、原油・天然ガス配送・備蓄設備の強化を進める。11年1月の「第12次五カ年計画」では第3、4西気東輸天然ガスパイプラインの建設と石油備蓄の整備を行うことを発表した。13年1月の「エネルギー発展第12次五カ年計画」では、備蓄・輸送施設建設を強化することを発表した。さらに13年4月には、政治局常務委員会は対外経済の安定的発展を促進し、エネルギー資源、先進技術・設備の輸入拡大、重要製品の備蓄・処理、輸入調整実施などを視野に入れた8大重点方針も発表した。さらに14年6月の中央財經領導小組第六回会議で習近平国家主席は、エネルギー配送と備蓄設備の建設強化をさらに強調した。

## 3. 輸入先確保と原油・天然ガス配送・備蓄設備の建設強化

習近平指導部は、エネルギー外交に注力している。特に「シルクロード経済ベルト」と呼ぶ中央アジア諸国などとのエネルギー調達関係に重点をおいている。さらに、40年までに原油はロシア、中央アジア、アフリカ、中東、天然ガスはロシア、中央アジア、中東、オセアニアなどからの輸入を見込む（表1）。

中東から原油と天然ガスを輸入するために、マラッカ海峡を経由しないミャンマー経由の石油・天然ガス

のパイプラインを建設中である。天然ガスパイプラインは14年7月に稼働を開始する予定にある。

さらにトルクメニスタンでは14年9月に新ガス田の生産が開始した。

18年からはロシアからの天然ガスパイプラインを通じた供給が決定されたものの、14年末まで価格算定方式をめぐる調整が続く見込みである。

海外からのエネルギー調達に加え、国内の原油と天然ガスの備蓄基地と設備も強化、国内では石油と天然ガスの備蓄基地が10カ所以上存在している（図4）。

表1：中国の原油、天然ガスの輸入先

輸入品目 年次・単位	原油輸入		天然ガス	
	2012年	2040年	2012年	2040年
	(万 b/d)		(Bm <sup>3</sup> )	
輸入先				
合計	540	1,170	39.7(21.4)	306(215)
旧ソ連地域	70	250	21.4(21.4)	248(215)
アフリカ	130	200	—	—
中東	270	640	7.7	34
中南米	60	—	—	—
オセアニア	10	—	4.8	24
東南アジア	—	—	5.8	—
北米	—	80	—	—

注：天然ガスの括弧内はパイプラインによる輸入内数。他はLNG

資料：日本エネルギー研究所（IEEJ）資料より日立総研作成



資料：各種公開資料より日立総研作成

図4：原油、天然ガスの配送・備蓄設備

日立総研は中国のエネルギー政策と事業環境の変化をウォッチしていく予定である。

## The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies By Erik Brynjolfsson and Andrew McAfee

研究第三部 主任研究員 小平 潤 仁

蒸気エンジンの発明から始まった産業革命が第一の機械時代だとすれば、今は「第二の機械時代 (the second machine age)」である。産業革命以降の工業技術の進歩は、人間や動物の労働を機械に換え生産性を飛躍的に向上させたいわば「筋力」の機械化であるのに対して、第二の機械時代は、指数関数的に進歩するデジタル技術が人間の「知力」を機械化する時代である。デジタル技術は人類に豊かさをもたらす一方で、人々の経済的格差を拡大させる可能性を含んでいる。今後さらに加速するデジタル技術の進歩は、人工知能技術やロボット技術を急速に進化させ、これまでは機械化が不可能と考えられていた人間の労働に置き換わっていくのだろうか。いやそれは既に始まっているかもしれない。本書はこの第二の機械時代の特徴やそれが経済に与える影響を分析し、社会や私たち一人ひとりが時代の大きな変化にどのように向き合い対応すべきかを説いている。

### 1. チェス盤の後半に到達した デジタル技術

グーグル社の自動運転自動車、アップル社のiPhone4に搭載された自然言語をインターフェースとするアプリケーションソフト Siri、グーグル社の自動翻訳ソフト、TVのクイズ番組で人間と競い優勝したIBM社のスーパーコンピュータ「ワトソン」、2012年にアマゾン社が買収したキヴァシステムズ社の倉庫物流ロボットなど、ここ数年で、これまでコンピュータ化が難しいと考えられていた人間のパターン認識力や複雑なコミュニケーション能力に近づくような技術が次々に出現している。

著者はムーアの法則とチェス盤の昔話を引用し、これらは決して偶然ではなくデジタル技術の急速な進歩によるものであると説明している。ムーアの法則は1965年にインテル社の共同創設者であるゴードン・ムーアが、自身の論説文で述べたものであるが、コスト当たりの集積回路の性能は今後10年間で1年当たり2倍になるというのがその概要である。現在は18カ月で2倍の性能になるという法則が一般的に用いら

れている。チェス盤の昔話はこうである。チェスを発明し王様に贈呈した発明家が、王様から望みの褒美を聞かれ、チェス盤の最初のマスに1粒、次のマスに2粒と前のマスの2倍の米粒を全64マス分欲しいと望んだ。王様はこの控えめと思われる望みに同意したが、半分の32マスになったところで米は40億粒にもなり、要求に応えられないことに気づいたというものである。

米国経済分析局が投資カテゴリーとして「情報技術」を設けた1958年をムーアの法則の基点とするならば、チェス盤の32マス目に到達したのは2006年という計算になる。実際にコンピュータ技術の重要な構成要素であるマイクロチップ密度、処理速度、ストレージ容量、エネルギー効率、データダウンロードスピードは指数関数的にその性能が向上している。またムーアの法則はコンピュータの基本性能だけでなく、デジタルカメラなどのデジタル装置にも広がっている。アップル社のiPad2は2つのカメラや各種センサを搭載してもコストは1,000ドル以下でほとんどの雑誌より小さく薄く軽い。近年のさまざまな実例は、私たちがもはや次に何が起きるか分からないチェス盤の後半にいることを示していると著者はいう。

### 2. デジタル化がもたらす豊かさと 格差

デジタル技術の進歩は人々に多くの豊かさをもたらす一方で、人々の間の収入や富、そして生活環境の格差を拡大させる可能性があるとして著者は指摘している。

2012年、わずか14人のチームでデジタル写真用フィルタというシンプルなアプリケーションソフトウェアを作製していたインスタグラム社が、創設から50カ月も経たないうちに約10億ドルでフェイスブック社に買収された。この数カ月前、第一の機械時代に一時は約14万5,000人の従業員を雇用し広大なサプライチェーンと販売チャネルを形成していたコダック社が倒産した。コダック社の創業者ジョージ・イーストマンは、彼自身が富を得ただけでなく、1880年創業以来、中間層の労働者に何世代にもわたり仕事を提供し、創



業の地ニューヨーク州ロチェスター市の発展に貢献し地域と富を分かちあってきた。写真産業だけではない。音楽、マスメディア、金融、出版、小売、流通、サービス、製造、ほとんど全ての産業で同様のことが起きている。

米国の中間世帯の実質所得は1999年をピークに減少傾向にあり、1999年と2011年で比較すると約10%減少している。2011年のGDPが過去最高額であったにもかかわらずである。特に技能を求められない労働者の収入は減少傾向にある。一方で高所得者上位10%の所得総額が全所得総額に占める割合は、2012年に世界恐慌以降初めて50%を超えた。さらに高所得者上位1%の所得総額が全所得総額に占める割合は22%で、1980年代前半と比較するとほぼ倍になっている。米国経済は勝者総取りの傾向を強めている。

技術革新が失業を引き起こすかという議論は少なくとも200年前前から続いているが、一時的な失業をもたらすことはあっても構造的な失業を継続させることはないという学説が近年の経済学においては主流である。これは経済理論と過去200年の統計に基づくものであるが、今その確証が揺らいでいると著者は指摘する。

労働生産性と雇用の関係を見るとそれまでは労働生産性の向上に対して雇用が追従していたが、1990年後半からは労働生産性が上昇しても雇用は増えないという分離現象が起きている。著者は、1990年後半までの200年間の統計とその後の15年の統計のどちらに従うべきかは明確にはいえないが、現在の急激なデジタル化とその組み合わせ技術の進歩や機械知能技術の出現はさらなる破壊的な変化を予感させると示唆している。

### 3. 機械に対する人間の優位性

1997年に当時チェスの世界チャンピオンに君臨していたガリル・カスパロフがIBM社のコンピュータ「ディープ・ブルー」にチェス競技で負けて以来、人間がチェス競技技術の向上に貢献できる余地はないと思われていた。しかし2005年に行われたフリースタイルのチェス競技でこの常識が覆された。フリースタイルチェス競技とは人間とコンピュータを自由に組み合わせで競技するもので、チェス専用のスーパーコンピュータは、人間の強い競技者とラップトップコンピュータとの組み合わせに勝利することはできなかつ

た。さらに驚くべきことは、この競技で優勝したのはチェスの名人（グランドマスター）とコンピュータの組み合わせではなく、アマチュアプレーヤーと3台のコンピュータの組み合わせであった。

著者は、概念化したり、創造したり、革新したりすること、言い換えれば既存の枠組みにとらわれずに自由に発想できることが機械に対する人間の強みであり優位性であると指摘する。コンピュータは、私たちの優れた新しいアイデアやコンセプトを前から存在する要素の新しい組み合わせで生成することはできるが、コンピュータがプログラムされた枠を超えて新しい発想をすることはないからである。

### 4. 第二の機械時代にふさわしい組織や制度

もし人間の仕事がどんどん機械に置き換わり、人々の失業が常態化してしまったら、経済全体は縮小の悪循環に陥ってしまう。また人は働くことで、お金だけではなく自尊心、健全な社会、健康など他の大切な価値を得ている。著者は、第二の機械時代においても人々が働くことを奨励する政策を支援していかなければならないと指摘する。

本書では、デジタル技術を活用した教育水準の向上、起業を促進する事業環境整備のための規制緩和、使用者と労働者の雇用マッチングシステム開発の促進、科学技術基礎研究への政府の資金援助、ソフトウェア特許や著作権制度の柔軟な見直し、公共インフラ整備、外国人による起業を促す移民制度、税制の見直しなど第二の機械時代に対応した政策の見直しについても問題提起されている。

私たちの成功は、技術だけでなく、新しい組織や制度の組み合わせを、既存の枠組みにとらわれずにどのように選択するかにかかっている。そして、私たちが本当に望むことは何か、私たちにとっての価値は何かをこれまで以上に深く考えていく必要があると著者は主張している。

本書は多くの事例や他者の研究成果を用いながら、今私たちが歴史上の大きな変曲点にいることを強い説得力をもって説いている。私たち一人ひとりが待ったなしの変革をせまられていることをあらためて強く認識させられる貴重な一冊である。







# 日立 総研

vol.9-3

2014年12月発行

発行人 白井 均

編集・発行 株式会社日立総合計画研究所

印刷 株式会社 日立ドキュメントソリューションズ

お問合せ先 株式会社日立総合計画研究所

東京都千代田区外神田一丁目18番13号

秋葉原ダイビル 〒101-8608

電話：03-4564-6700（代表）

e-mail：hri.pub.kb@hitachi.com

担当：主任研究員 東 聡

<http://www.hitachi-hri.com>

All Rights Reserved. Copyright© (株)日立総合計画研究所 2014（禁無断転載複写）  
落丁本・乱丁本はお取り替えいたします。





# 日立 総研

[www.hitachi-hri.com](http://www.hitachi-hri.com)