

デジタル化, i-Construction, 建設 DX についての考察

京都大学名誉教授, ドローン測量教育研究機構 大西 有三

1. はじめに

令和という新しい時代に入り, 建設系で話題となっているトピックスは, デジタル化, ビッグデータ, i-Construction と建設 DX, BIM/CIM, ドローン, AI (人工知能), ブロックチェーン, デジタルツインなどであり, 最近では社会全般に DX という言葉が溢れている. 今では DX, DX とまるでバブル状態であるが, 数年もすると全く顧みられなくなるかもしれない. i-Construction が提示された当初はあれほど話題になったのに, 今では露出度が減った. これらの言葉は, 内容が明確でないまま使われているようで, 特に DX については建設分野とどう関係しているのか, 本当に正しく理解されて使われているのか, 腑に落ちない点が多々あり, 冒頭の項トピックス項目と連携させて, ここで改めて整理してみよう.

2. 日本におけるデジタル化とは

デジタル化が必要と盛んに言われる. しかし, デジタル化とは, ファクスや印鑑を使わないということだけではない. 高度な情報技術を開発し駆使することである. 我々は既に, スマートフォンという強力なデジタル機器を使いこなしている. 携帯電話の進歩は, いかにもデジタル社会が進行しているかを端的に示している.

データやデジタル技術を活用して, 行政業務やビジネスを変革する動きが各業界・領域で広がっている. インフラ業界でも, 老朽化や人手不足などの構造的な課題をデジタル化によって解決すべく, さまざまな試みが開始されている.

政府も国民が当たり前に望んでいるサービスを実現し, デジタル化の利便性を実感できる社会を作るという方針を示し, デジタル庁を発足させている. 一方, 世界的に見て日本のデジタル化の遅れは, これまでも日常生活の中で何度も経験させられてきた. コロナ禍での日本での情報のやり取りが混乱したことは記憶に新しい.

日本では, 社会全体で諸外国と比べて生産性が低いことが常々言われているが, 生産性を引き上げるために最も必要なのは, デジタル化を進めることであり, 加えて技術開発を促進することが必要であると指摘されている. さまざまな面において新しい技術を導入し, 生産性を引き上げなければならない.

日本の成長率鈍化が起きた時点は, IT 革命によってインターネットが普及し始めた時点と一致している. 1995 年はウインドウズ 95 が発売され, 誰もが手軽にインターネットを利用できるようになった. 90 年代以降のアメリカ経済の高い成長率を実現した原因が, IT 革命であったことは明らかである. アメリカだけでなく, 先進的な国々がインターネットという新しい技術体系を使って華々しい成長を遂げ始めた.

一方, 日本は, 90 年代中頃から成長しなくなり, デジタル化はどうしようもないレベルにまで落ちてしまった. 「今の日本は先進国でも, また発展の途上でもなく”衰退途上国”である」という表現がされている. しかし, そんな状況でありながら身に迫るような危機感を感じたことも同時にないのである. い

いわゆる「茹でガエル」の状態にあったと言える。

アメリカでは、1990年代中頃から生じた大きな技術革新の流れに対応して、情報データ処理などの高度サービス産業が成長した（この中核が、GAF A と呼ばれてきた巨大 IT 企業群だ）。しかし、日本のサービスや技術は、海外に比べて属人化している傾向にあり、その分人材の流動性が圧倒的に低い。「熟成された秘伝のたれ」みたいなオペレーションがいろいろなところに存在しているのが現状である。それをデジタル化しようとする、長年培ってきた人間のほうが優秀だから絶対に品質が落ちる。これを解きほぐしながらデジタル化を進めないといけないというのが、日本の難しいところである。また、職人の技のクオリティが高すぎて、デジタル化する力学が働きづらく、人の手によって成立しているものをあえて変える必要も理解されづらいというジレンマがある。

日本では、Japan as No.1 と有頂天になり、過去に成功したことが将来でも通用すると信じて現状にとどまってしまった。産業構造が古いタイプのものから変化していないことが問題である。アメリカで成長率が高いのは、情報産業のような新しい産業が登場、経済全体を牽引しているのだ。日本ではこうした変化が起きていないので、今こそデジタルデータの利活用、それに伴う技術開発によって生産性を高める必要があることは言うまでも無い。

3. DX（デジタルトランスフォーメーション）とは何？

DX の元々の概念は、2004年にスウェーデンのウメオ大学教授エリック・ストルターマンによって提唱された「デジタル技術の浸透によって、人々の生活のあらゆる面で起こる良い変化や影響」を意味している。

経済産業省はDXを「企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること」と定義しており（DX 推進ガイドライン 2018 年）、図解すると図-1 のようになる。様々な外的環境変化に伴って組織を変化に対応出来る形に進化させ、内部を変革することを示している（市谷聡啓「デジタルトランスフォーメーション・ジャーニー」翔泳社 2022）。

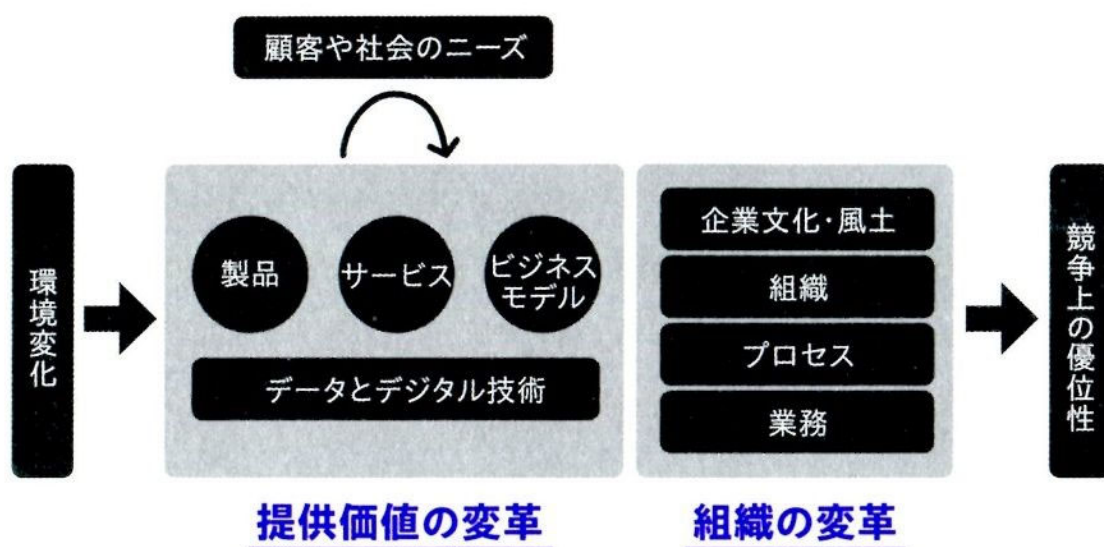


図-1 DX の概念

企業だけでなく、政府機関や地方自治体などでも DX の取り組みを進めており、DX という言葉はかなり身近なものとなってきた。しかし、実際には DX の推進には苦勞している企業が多く、なかなか進んでいないのが現状である。

改めて、DX とは単に「今現在の新しい技術を使ってサービスやビジネスを作りましょう」という話ではなく、変化に適応できる組織を目指し、その内部のあり方の変革を目指すもので、デジタイゼーション、デジタルライゼーション、デジタルトランスフォーメーションという3つ段階がある。

第1段階のデジタイゼーションとは、要するにデジタル化であり、紙文書をはじめとしたアナログ、物理的な媒体をデジタルに置き換えるものである。紙のやりとりをなくすだけでも、大きな効率化が期待できる。例として、マニュアルや請求書など書類のペーパーレス化（電子化）やそのためのRPA、オンライン会議やオンライン商談の実施などが挙げられる。第2段階のデジタルライゼーションは、個別業務、プロセスのデジタル化にあたる。人力で行っていた業務を自動化するなどである。ただし、第1段階も第2段階も、まだカイゼンに留まる状況と言える。第3段階に至って、本来のDX「関係者に向けた新たな価値創造のための事業、ビジネスモデルの変革」にたどり着く。

デジタル化やデータ蓄積の流れで結果的にDXを成し遂げるのではなく、在るべき理想の状態を描いてから計画していくことが大切である。DXで社会の課題を解決するには、1つの部署、1つの会社がDXを完遂するだけでは単なるデジタル化にすぎないのであり、全体が繋がらなければならない。このことは、次項のi-Constructionについても同じ指摘が成り立つ。

4. アイ-コンストラクション (i-Construction) とは

インフラ分野においては、今後深刻な人手不足が進むと懸念される一方で、災害対策やインフラの老朽化対策の必要性は高まっている。こうした課題に対応するため、国土交通省は、2016年度からICT技術の活用等による建設現場の生産性向上を目指すi-Constructionを推進してきた。これは、国交省が掲げる数ある生産性革命プロジェクトのうちの一つで、測量から設計、施工、検査、維持管理に至る全ての事業プロセスの中で、(1)ICTの全面的な活用 (ICT 土木) (2) 規格の標準化 (コンクリート工) (3) 施工時期の標準化の3つを「トップランナー施策」として定め、2016年度に開始したものである。

「i (アイ)」と頭文字がつくこともあり、i-Construction というと建設業界にICTを導入するための政策だと思われがちだが、ドローン、ロボットやCIMなどといったICTの導入が関係するのは上記3つのうち1つのみで、他の2つの施策はあまりICTには関係がない。

ICT活用工事とは、プロセスの各段階においてICTを全面的に活用する工事である。施工プロセスの各段階とは、①3次元起工測量、②3次元設計データ作成、③ICT建設機械による施工、④3次元出来形管理等の施工管理、⑤3次元データの納品を示しており、その中でICT施工やBIM/CIMをはじめとする3次元データの活用等が推奨されてきた。

深刻化する人手不足を解消し、従来の3Kのイメージを払拭して、新3K（「給与が高い」「休暇が取れる」「希望が持てる」）を掲げた魅力的な職場・業界を目指すために、ICTを活用した省人化・省力化に向けて、「一人あたりの生産性向上を目指す」方向に力を入れている。これがi-Constructionが世に出た背景である。

そして、i-Constructionにより将来的には、測量から設計、施工、維持管理に至る建設プロセス全体を

スムーズに3次元データで繋ぎ、新技術、新工法、新材料の導入、利活用を加速化することが目標である。こうした事情が組み合わさって、i-Constructionが建設DX（あるいはインフラDX）へと変貌していったわけである。

5. アイ-コンストラクションから建設（インフラ）DXへ


「インフラ分野のDX」は、社会資本や公共サービスの変革はもちろん、建設業や国土交通省の文化・風土および働き方の改革を目的としている。ここでいうDXは、単なるデジタル化ではなく（すなわちDX=IT活用ではない）、これまでの常識にとらわれることなく、公共サービスの変革や、業務、組織、プロセス、建設業や省庁の文化・風土や働き方を変革し、国民、業界、職員への貢献を目指す取り組みである。

このDXの基盤として、調査・測量・設計から施工、維持管理に至る建設生産プロセスを3次元データ（BIM/CIM）でつなぐ取り組みを推進し、このBIM/CIMの導入が建設生産・管理システム全体を見通した施工計画、管理などのコンカレントエンジニアリング、フロントローディングの考え方に繋がっていくのである。

機械系を中心とした製造業では、DXはさして新しいコンセプトではない。CAD/CAMやCAEも用いた3次元設計、プロセスでは、フロントローディング、コンカレントエンジニアリングが既に市場に出回っていた。最近になり、建設分野ではこうした考えのDXは生産性向上に寄与するとして進んでいた生産現場の考え方が入り込んできたのである。

DXでは、それぞれの工程での取組を完遂することは重要だが、こうした取組で得られたデータ等を連携し、横断的に活用することにより新たな価値を創造していくことも重要な取組であるとされており、調査・測量・設計から施工、維持管理に至る建設生産プロセスを3次元データ（BIM/CIM）でつなぐ取り組みを具体的に進めなければならない。

しかし、実際建設系でDX完成度の高いことが行われているかと聞かれると、部分的な適用にとどまっているとしか言いようがない。例えば、多くの企業や役所でDXと銘打って広報がなされているが、DX本来の趣旨からはまだまだ遠い。

ここで、建設DX（インフラDX）の課題を検討してみよう。国交省が推進しているi-Constructionから拡大したインフラDXは、調査・測量・設計から施工、維持管理に至る建設生産プロセスを3次元データ（BIM/CIM）でつなぐ取り組みであると説明されており、多くの企業がこのDXに取り組んでいる途中である。そのプロセスを示したので、である。

・「設計から施工」、「施工から維持管理」のデータのシームレスな受け渡しについて産官学による共同研究
 ・ボトルネック工程の抽出やデータ変換アプリの開発

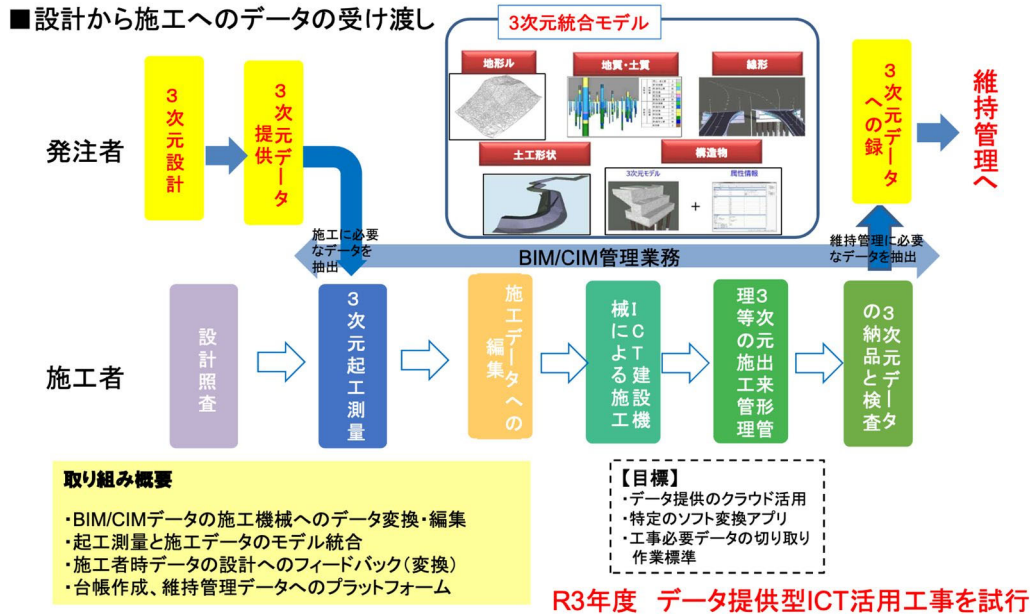


図-2 設計から維持管理までのデータ管理（国交省）

調査・測量・設計から施工，維持管理に至る建設生産プロセスを3次元データ（BIM/CIM）でつなぐ意図は読み取れるが，残念ながら現実にはデータの流がスムーズではなく，所々で滞っている。官民ともに担当した部分では，いわゆる部分最適が行われ，個々の作業としては完結するのであるが，全体最適となっていないのが問題である。

また，露わになったいくつかの課題を示すと，各作業工程で，データのフォーマットが統一されていないので，その都度作業に合わせてデータを作り直さなければならないという指摘がある。特に設計データをIC建機用に変換する手法が確立しておらず，建機各社が各様なので，適合したデータ作成にコストや手間がかかること，3次元データを作成できる技術者がまだ少なく2次元からの転換が進んでいないこと，設計と施工のロットや使用するデータが異なること，現状では3次元出来高管理計測データが維持管理担当者に伝わらず，途切れていること，またそもそもの3次元図面のデータ形式が統一されていないのでソフトによって対応出来ない場合が生じること等など，各々の場面で不具合が散見され，更なる改善が求められている。

こうした課題を克服し，インフラDXを更に高度化していくためには，新しい技術の導入が不可欠であり，積極的な技術開発が望まれる。

6. 新技術への挑戦

企業は，競争力を維持するためにイノベーションを続けなければならない。官民共に，生産性を飛躍的に向上させるためには，新しい技術を活用，イノベーションを行うと共に，インベンション（発明・創意）を起こす必要がある。日本では，イノベーションに偏りすぎインベンション力が失われつつあるのでは無いかと危惧される。以下に，近年のいくつかの新しい技術・手法について述べる。

6-1 AR/VR & メタバース

サイバー空間でのデータ・情報の解析結果を、現実空間にフィードバックする表現技法がAR（拡張現実）やVR（仮想現実）である。拡張現実（AR）とは、人が見ている現実の世界に、コンピュータのモデルを重ね合わせるもので、これにより、デジタルモデルで拡張された現実の合成ビューが作成される。仮想現実（VR）とは、コンピュータで作られた完全な3次元の環境で、現実のように対話形式の操作ができるものである。ARやVRでは、サイバー空間をよりリアルに視覚的に表すので、大きな可能性を秘めた刺激的なテクノロジーであると言える。

一方、メタバース（Metaverse）は、英語の「超（meta）」と「宇宙（universe）」を組み合わせた造語で、コンピュータネットワーク内に構築された現実世界とは異なる3次元の仮想空間やそのサービスのことを指す。利用者はオンライン上に構築された3DCGの仮想空間に世界中から思い思いのアバターと呼ばれる自分の分身で参加し、相互にコミュニケーションをしながら買い物やサービス内での商品の制作・販売といった経済活動を行ったり、そこをもう一つの「現実」として新たな生活を送ったりすることが想定されている。

このような3次元CGの技術を使って、実装された仮想空間内で利用者は相互にコミュニケーションがとれる。土木分野でもメタバースを活用しようという動きが出ているので、工夫次第では活用の幅は広がると期待できる。一つ例を挙げると、非専門家への説明、例えば住民への説明会での活用が考えられる。一方、これからの活用が望まれる航空レーザー測量などで取得した地形データは、メタバース用のエンジンと互換性がないことから、今後は対応した変換ソフトの開発が急がれる。

6-2 人工知能(AI)/ML(Machine Learning)

人工知能（AI）と機械学習（ML）は将来的に大きな影響を与えるとされ、多くの企業は、競争力の向上に役立つと考えている。AIはIoTで得た莫大なデータを高精度かつ効率的に解析可能であることはよく知られ、AIの応用範囲が広がっている。

多くの企業が「AIを活用したい」と思う反面、その活用度合いは海外に比べると低いと言われている。加えて、日本企業の労働生産性が低いという課題の改善にAIが大きく寄与するはずである。

最近では、専門性が必要な処理の多くが自動化されるために、非専門家でもAI予測分析を簡易な操作で行えるように”No Code” AIが拡がりつつある。たとえば、SONY系のサービスでは、ビジネスに有用な予測分析を機械学習により行うソフトを提供している。様々な予測を、画面操作の手数や処理時間を抑えながら高い質を保ち、長年の勘や現場の感覚を予測結果と照らし合わせ、AI予測をリスクヘッジすることも出来る。また、「なぜその予測が導き出されたのか」という理由も示されるので、現場への説明やどのデータを使うかの見直しも容易に行える。

6-3 3Dプリンティング AM (Additive Manufacturing)

3Dプリンティングは、従来ではできなかったものが作製できるようになり、技術革新に繋がる可能性を秘めている。最近では、“Additive Manufacturing”，略して“AM”と呼ばれることも多い。

世界で最初に光造形装置であるAMを発明したのは1980年、名古屋市工業研究所の小玉秀男氏である。これは立派なインベンションと言える。残念ながら当該技術の特許は1984年に米国のHull氏が取得し3D

Systems社を創業，現在に至っている。

現在使われている AM の優れた特徴と現状の課題は以下の通りである。

- (1) デジタル化との相性が良い，すなわち AM は 3D CAD 等で作成した 3 次元形状をすぐに造形できる
- (2) 金型を使わず製品等を作ることが可能なので，試作段階などで使うプロトタイプを低コスト・短時間で作ることが可能となる。
- (3) 形状自由度が高いという点も大きな特徴である。

AM の課題を示すと，1 つは造形時間の長さである。2 つめは造形できるサイズが限られているという点，3 つめは材料選択肢が少ないことである。しかし，最新の技術はこれらの課題を克服しつつある。コンクリートの連続打設で，家屋を短時間に構築することも行われており，土木建築分野での展開が期待される。

最近特に注目されるのが，最適な形状を求める構造設計法「トポロジー最適化」である。初期形状を与え（簡単な形状でも，既存の製品形状でも良い），それに対して拘束条件（固定，圧力荷重等）を指定し，かつ“体積を 30%低減させる”“応力があらゆる場所で一定値以下になるようにする”などの条件を設定することで，その条件を満たす形状を計算するというものだ。

今後は，建設分野において AM ならではの形状設計，既存加工法と比較したときのコスト等，独自の設計手法の開発が求められ，ユニークな構造物が出来上がることが期待される。

6-4 デジタルツイン

デジタルツインとは，フィジカルな現実空間で得たモノや環境にまつわるデータを，サイバー空間上に移管し再現する技術概念を指す。リアル空間でセンサーデバイスなどから IoT 技術を駆使して得たデータ・情報を，鏡のようにそっくりサイバー空間に反映させるため，デジタルツイン，つまり「デジタルの双子」と名付けられていてメタバースとも相性がいい。特徴は IoT などの最先端のテクノロジーを活用して，現実には生産現場などで起きているリアルタイムの状況を現場にいるかのように詳細に把握できることである。

デジタルツインは，現実空間における未来の変化を，サイバー空間での実証試験により推測するという点で，シミュレーション手法の一種であり，シミュレーションの欠点を補完したさらに高度な手法であると言える。

デジタルツインでは，現実空間をミラーリングしたサイバー空間で解析・推測をする。IoT や AI の働きにより，現実空間と全く同じ環境が同時進行で反映されるため，人による仮説立てや作業の手間がかからない。解析データをもとに，適したタイミングでリアルタイムに現実空間へのフィードバックが可能である。

デジタルツインを活用することで得ることが出来るメリットは数多くある。例えば，遠隔監視の実現やデジタルによる現場作業の効率化，更に予防保全（現場状況を同時進行で把握でき，故障や不具合予測を行うことで，ダウンタイムが縮小される。さらに AR を導入すれば，機器の効率的なメンテナンスが可能です）が可能である。

デジタルツインの具体的事例として、阪神高速道路は、現実世界にあるさまざまなデータをロボットやセンサー技術で収集・蓄積し、現実空間にある橋やトンネルといった道路構造物の竣工図や設計計算書から、地盤モデルから構造モデルまで、実物と同じ性質・挙動を示すモデルをサイバー空間に再現するする先進的な試みを行っている。

7. おわりに

新しいテクノロジーに対応するには、常に学び、好奇心を持ち、新しいことにチャレンジする精神を育む文化が必要である。この文化がなければ、テクノロジー採用の障壁を克服することは困難であろう。

少々の失敗も恐れずに、新しいことにチャレンジしていく人たちは、世界には沢山いる。代表的な人は、米国のベンチャー企業家イーロン・マスク氏である。彼は何度も失敗しているが、現在は電気自動車（EV）メーカーであるテスラと、ロケット再利用自動帰還システムを開発して打ち上げの劇的なコストダウンを実現させたスペースX社の2つのチャレンジングな会社を経営する。このような奇想天外とも言える構想を実現するには、斬新なアイデア、強い意志と情熱、それに資金が必要である。アメリカには、リスクをとってベンチャー企業に多額の出資をする投資家が沢山いるが、安全・安定志向の日本の投資家にはそのような姿勢はとても望めない。

日本では、なぜこうした革新的なイノベーションが起きないのであろうか。新しいことに関して、保守的・安全志向が強すぎるのであろうか。

最近、超高速コンピュータとして期待されている、従来とは全く異なる原理で動く”量子コンピュータ”が出現した。この革新的大発明といわれている量子コンピュータ（アニーリング型）、実用化の先鞭をつけたのはカナダの大学院生で、その構想に応じ同じ大学の教授達が出資して会社（D-Wave社）を成功させている。もっと驚くのは、この基本アイデアは日本の大学で生み出されたが、実用化に向けての投資は誰もしなかったという現実に対してである。

1990年代の中頃に、IT革命と中国の工業化という二つの大きな変化が起きた。世界はこれに対応して産業構造を変えていったが、日本は古い構造のままにとどまった。それまでめざましい成長を続けていた日本が、90年代中頃から成長しなくなったのは、このためだ。こうして日本のデジタル化は、どうしようもないレベルにまで遅れてしまったことは既に述べた。

以上のような変化が起きていることを、日本人はあまり意識していない。日本は島国であるため、海外旅行に出かけないと世界における自国の相対的地位を実感できない。だから、外国との比較で日本の地位が下がっていることを自覚しにくい。今の日本人は、外国に学ぶという謙虚な態度を失ってしまったように見える。何よりも必要なのは、現在、日本が置かれている状況を正しく認識することだ。そして、一步一步、改革を進めることだ。

日本の停滞感の根本は、全体的にリーダーシップを発揮できる人材が不足していること、チャレンジ精神に富み、好奇心旺盛で、”Think Globally, Act Locally” 広い視野で物事を考え、自分の足下（周り）から行動できる人たちが極めて少ないからと言われる。特に若い人たちは、この点を強く意識して欲しい。

今後少子高齢化で人口が減少し、市場が縮小するであろう日本において、絶え間ない革新と変化が要求されることになる。好奇心を持ち続け、世の中の価値観の変化を読み、何が求められているか、自分の役割はないかを常に考えておくことが必要である。