

「地球温暖化の科学と脱温暖化への取り組み」



独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター
副センター長 野尻幸宏

本文は、ご講演内容を基に、IPCC 第4次評価報告書（政策決定者向け要約（仮訳）平成19年11月30日付文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省仮訳）にから補足・引用した内容である。（桜門工業クラブ・桜門技術士会）

．はじめに

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）は、1988年にWMO（世界気象機関）とUNEP（国連環境計画）のもとに設立された国連の組織である。IPCCの目的は、地球温暖化に関する最新の科学的知見を収集・評価する科学的アセスメントを定期的を実施することにある。

1992年に気候変動枠組条約が採択されて以来、特に条約の締約国に対して科学的、技術的、社会科学的助言を評価報告書や特別報告書を通じて提供してきた。

IPCCには、3つの作業部会と1つのプログラムがある。

第1作業部会（WG1）は自然科学的根拠（The Physical Science Basis）、第2作業部会（WG2）は影響・適応・脆弱性（Impacts, Adaptation and Vulnerability）、第3作業部会（WG3）は緩和策（Mitigation of Climate Change）というタイトルのもとで、定期的に評価報告書（Assessment Report）の作成にあたる。これに加えて、温室効果ガス国別排出量目録作成プログラムがあり、UNFCCCが求める温室効果ガス排出量報告のための統一手法ガイドラインを作成している。

2007年に公表された第4次評価報告書（4th Assessment Report、以下AR4）の大きなインパクトとして、実際に世界の気候に現れつつある兆候の中、政治を動かし今世紀前半のうちに実質的な温室効果ガス大幅削減を行わなくてはならないという世界世論を作るのに貢献した。そのために、昨年のノーベル賞の受賞という思いがけない副産物を得た。3部の報告書は3000ページに近い膨大なものである。要約の英文の本体や、その要約の和訳については、環境省（http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th_rep.html）ホームページに、必要なリンクがある。

報告書の解説は、その膨大さのためにきわめてかいつまんだものにならざるを得ない。しかし、世界が、日本が、市民がとるべき行動は、報告書が示す温暖化に関する最新の知見から見えてきたことは間違いない。

講演では、報告書全体の解説とともに、国や市民の行動に関わる考え方についても話して

みたい。

2. 気候変化とその影響

最近12年（1995～2006年）のうちの11年の世界の地上気温は、1850年以降で最も温暖な12年の中に入る。過去100年間の線形の昇温傾向は100年当たり0.74℃であり、第3次評価報告書で示された0.6℃（1901-2000）の傾向と比べて大きい（図.1）。温度上昇は地球全体にわたり生じており、とりわけ北半球のより高緯度地域でより大きい。陸域は海洋に比べより速く温暖化している。

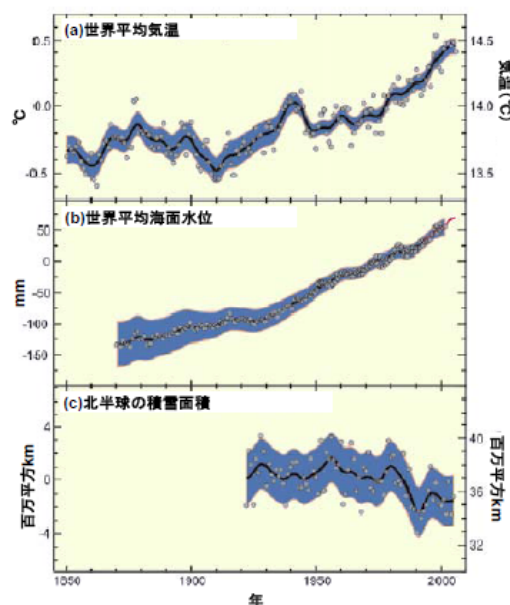


図.1 世界平均地上気温、平均海面水位、北半球積雪面積

海面水位の上昇は温暖化と整合性がある（図.1）。世界平均海面水位は、熱膨張、氷河や氷帽の融解、極域の氷床の融解により、1961年以降、年平均1.8mmの速度で上昇し、1993年以降、年当たり3.1mmの速度で上昇した。また、温暖化に伴い、雪氷面積が縮小している（図.1）。1978年以降の衛星観測のデータによれば、北極の年平均海氷面積は、10年当たり2.7%縮小した。特に夏季の縮小は10年当たり7.4%と大きい。南北両半球において、山岳氷河と積雪面積は平均すると縮小している。

降水量は、この100年間で、南北アメリカの東部、ヨーロッパ北部、アジア北部と中部でかなり増加した一方、地中海地域、アフリカ南部や南アジアの一部では減少した。1970年代以降、世界的に干ばつの影響を受ける地域が拡大した可能性が高い。

過去50年間に、陸上のほとんどの地域で、寒い日、寒い夜及び霜が降りる日の発生頻度は減少し、また、暑い日、暑い夜の発生頻度が増加した可能性がかなり高い。陸域のほとんどの地域において熱波の発生頻度が増加し、また、ほとんどの地域において、大雨の発生頻度が増加している可能性が高い。極端な高潮位の発生についても、1975年以降全世界的に増加している可能性が高い。

20世紀後半の北半球の平均気温は、過去500年間の内のどの50年間よりも高い可能性が

強く、少なくとも過去1300年間の内で最も高温であった可能性が高い。

全ての大陸及びほとんどの海洋の観測結果から、多くの自然システムが、地域的な気候変化、とりわけ気温上昇によって、今までに影響を受けている。

雪、氷、及び凍土の変化が、氷河湖の数と規模の拡大、山岳地域及びその他永久凍土地域における地盤の不安定化、北極及び南極のいくつかの生態系における変化をもたらし、水文システムもまた、氷河や雪解け水の流れ込む河川の多くで、流量増加と春の流量ピーク時期の早まりにより影響を受けていること、温暖化しつつある河川や湖沼の温度構造や水質が影響を受けていることの確信度は高い。

陸上生態系における、春季現象の早期化や、植物種及び動物種の生息範囲の極方向及び高標高方向への移動が、最近の温暖化に結びついていることの確信度は非常に高い。海洋及び淡水中の生物システムにおいては、藻類、プランクトン及び魚類の生息数の変化が水温の上昇ばかりでなく、関連する氷の面積、塩分や酸素濃度レベル、循環の変化とも関係していることの確信度は高い。

これらの影響には、以下のものへの気温上昇の影響が含まれる：

- ・ 北半球高緯度地域の農業及び林業の管理への影響、たとえば、春の作物の植付けの早期化、火災や害虫による森林の自然更新の変化
- ・ 人間の健康に関する側面、例えば、ヨーロッパにおける高熱関連の死亡率、いくつかの地域における感染症媒介生物、及び北半球の高・中緯度地域におけるアレルギー誘発性花粉の変化
- ・ 北極域における人間活動（例えば、狩猟や雪上・氷上の移動）と低標高の山岳地域における人間活動（例えば、山岳スポーツ）

3. 変化の原因

産業革命以降、人間活動による世界の温室効果ガスの排出量は増加し続けており、1970年から2004年の間に70%増加した。（図.2参照）

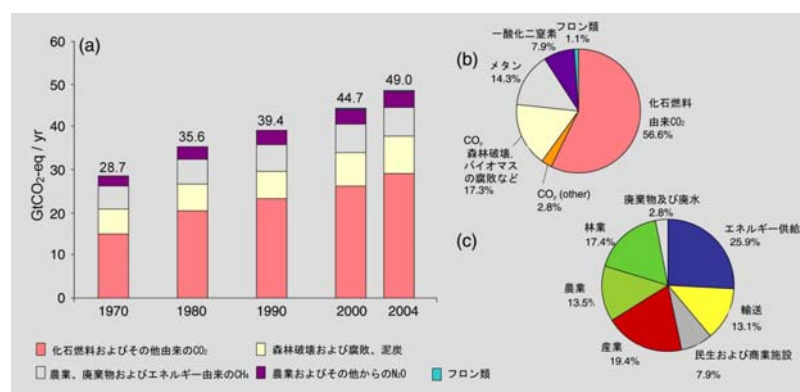


図.2 地球規模の人為起源の温室効果ガス排出

二酸化炭素 (CO₂) は最も重要な人為起源の温室効果ガスである。その年間排出量は、1970年から2004年の間に約80%増加した。供給された単位エネルギー当たりのCO₂排出量の減少

という長期的な傾向は、2000 年以降逆転している。

世界のCO₂、メタン (CH₄) 及び亜酸化窒素 (N₂O) の大気中濃度は、1750年以降の人間活動の結果、大きく増加してきており、氷床コアから決定された、産業革命以前の何千年にもわたる期間の値をはるかに超えている。2005 年における大気中CO₂濃度(379ppm)とメタン濃度(1774ppb)は、過去約65 万年間の自然変動の範囲をはるかに上回っている。世界のCO₂の大気中濃度の上昇は第一に化石燃料利用に因るが、土地利用の変化も、これにやや劣るものの重要な寄与である。観測されたメタン濃度の増加は主として農業や化石燃料の使用による可能性がかなり高い。メタン濃度の増加率は1990 年初めに降減少しており、総排出量(人為起源と自然起源の合計)がこの時期、ほぼ一定であることと整合する。亜酸化窒素濃度の増加は第一に農業によるものである。

20 世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性がかなり高い。過去50 年にわたって、南極大陸を除く各大陸において平均すると、人為起源の顕著な温暖化が起こった可能性が高い。(図. 3)

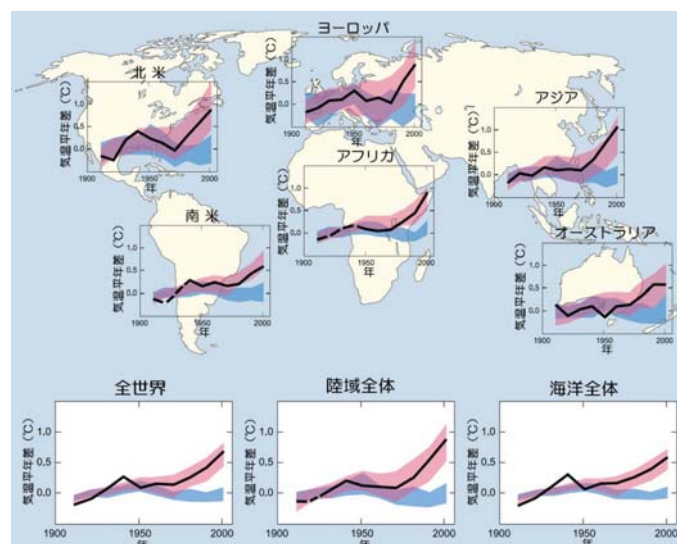


図. 3 世界規模及び大陸規模の気温変化

4. 予測される気候変化とその影響

現在の気候変化の緩和政策及び関係する持続可能な開発においても、世界の温室効果ガス排出量は今後数十年間増加し続けるとの、多くの一致と多くの証拠がある。

排出シナリオに関するIPCCの特別レポート (SRES2000) シナリオは、世界の温室効果ガス排出量は、2000年から2030年までの間にCO₂換算で25-90%の範囲で増加すると予測する。

温室効果ガスが現在のまたはそれ以上の速度での排出は、一層の温暖化の原因となり、21世紀中に世界の気候システムに多くの変化を引き起こすであろう。その規模は20 世紀に観測されたものより大きくなる可能性がかなり高い。

SRES 排出シナリオの範囲では、今後20 年間に、10 年当たり約0.2°Cの速度で気温が上昇すると予測される。たとえ、全ての温室効果ガス及びエアロゾル(大気中の色々な化学成分と大きさをもつ微粒子)の濃度が2000 年のレベルで一定に保たれたとしても、10 年当たり

0.1°Cのさらなる昇温が予測されるであろう。その後の気温予測は、個別の排出シナリオに徐々に依存するようになる。

WG1（自然科学的根拠）の気候変動予測について、地球科学的シミュレーションの世界中の23のモデルで研究と共通の排出シナリオに対して行った。

少し排出量が多いシナリオA1の結果では、最終的に海域が3°C、陸域が5°C、地球全体の平均が4°Cとなる。極地や高山帯で温度が上がる。北極海の氷は1年の半分が融ける。2100年になると、日本も欧州も降雪ラインが後退し、日本では本州は降雪しない。北極海の氷は、1年間で4割しかカバーされない。雨も変わり、多くのところで雨量が増え、豪雨が増える。また、乾燥地域は、一層乾燥が進み、旱魃が増えることになる。

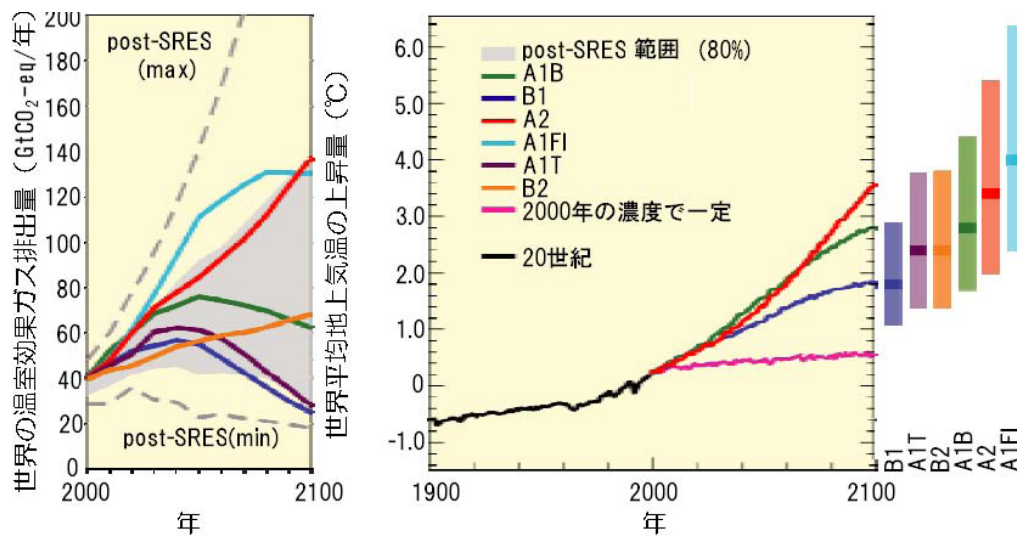


図. 4 2000-2100年までの温室効果ガス排出シナリオ及び地上気温の予測

地域規模の変化には以下のものが含まれる:

- ・ 昇温は、積雪面積の縮小、ほとんどの永久凍土地帯における融解深度の深化、海氷面積の縮小といった最近の観測された傾向を継続する形で、ほとんどの北半球の陸域において最大となり、南極海及び北大西洋の一部地域で最小となる。いくつかの予測では、晩夏における北極海の海氷が、21世紀の後半までにはほぼ完全に消滅する。
- ・ 極端な高温や熱波、大雨の頻度は引き続き増加する可能性がかなり高い。
- ・ 熱帯低気圧の強度が増大する可能性は高い。世界的に熱帯低気圧の発生数が減少することの確信度は低い。
- ・ 温帯低気圧の進路の極方向への移動と、それに伴う、風・降水量・気温の分布の移動。
- ・ 降水量は、高緯度地域では増加する可能性がかなり高く、亜熱帯陸域においては減少する可能性が高い。これは、観測された最近の変化傾向を継続するものである。

以上がWG1の内容である。

WG2（影響・適応・脆弱性）の結果を簡単に述べる。

気温上昇が1°C、2°C、3°Cになると、水、生態系、食料などにどのような影響が出るかを

検討した。簡単に説明すると次のようになる。

- ・ 水は、2°Cの上昇で数億人が水不足となる。
- ・ 生態系は、サンゴが1°C~2°Cの上昇でほとんどが白化し、2.5°C以上では広範囲に死滅する。3~4°Cで影響は大きなものとなる。
- ・ 食糧は、1°Cではウクライナなどでプラス影響もあるが、3°C上昇すると穀物生産などに世界中に影響が及ぶ。特にアフリカなど零細農業地域に深刻な影響が出る。
- ・ 沿岸域では、1.5°Cで洪水・暴風雨が増し、2~3°Cでは、世界中の沿岸域に影響する。

結論として、気温が2, 3°C上がるとマイナスの影響が大きく、気温上昇を2°Cまでに止めないと世界が危ない。

第4次評価は、将来の気候変化の影響は、地域によって異なる。全球平均気温の上昇が1990年レベルから1~3°C未満である場合、ある影響はある場所のあるセクターに便益をもたらす、別の影響は別の場所の別のセクターにコストをもたらすと予測される。しかし、一部の低緯度域及び極域は、気温のわずかな上昇の場合でさえ、正味のコストを経験すると予測される。気温の上昇が約2~3°C以上である場合には、すべての地域は正味の便益の減少か正味のコストの増加のいずれかを被る可能性が非常に高い。

5. なんで半減か？

IPCC第4次報告書では、気温上昇を2度程度に食い止めるには、遅くとも2020年までに世界の温室効果ガスの排出量を減少に転じ、2050年には2000年より半減させる必要があると指摘している。2050年までにCO₂を半減することについて、民主党の菅直人事務所に呼ばれて質問された。排出されたCO₂は、海に半分吸収されるので、CO₂増加速度は半減するのではないかということである。それについて、以下に説明する。

化石燃料の消費で、毎年3.5ppm増加し、現在は2ppmで、残りの1.5ppmは自然が吸収している。5、6割を自然が吸収している。世界のCO₂の排出総量6.5ギガトン（10億炭素トン）のうち、海洋で2ギガトン、陸域で1ギガトンが吸収され、大気に3.2ギガトン残留していると推定される。大気は観測され、統計値となっている。海と陸のCO₂の数値は、海上や陸地などで観測された観測データ、森林破壊による土地利用変化、統計データ、さらには酸素の消費量を求めて、計算から求めた結果であるが、そのためCO₂や酸素はいろいろな現場で観測している。

これらの結果は、国際的な3つの研究機関の結果ともつき合わせ、よく一致していることが確認されている。

炭素循環について

大気中に含まれる二酸化炭素（CO₂）は、海水への溶解と大気への放出を繰り返し、平衡状態を維持している。また、二酸化炭素は、光合成による有機物が植物等にエネルギーとして直接消費され、再び二酸化炭素として大気中に放出する。一方、植物に蓄えられた有機化合物の一部は、これを食べる動物によって消費され、動物の呼吸により二酸化炭素として大気中に放出する。動植物の死骸や排せつ物は土壌中の微生物により分解され、二酸化炭素として大気中に戻る。この生物による循環は海中にも存在する。海中の表層に溶解した二酸化炭素が植物プラン

クトンにより有機化合物として固定され、これを摂食した動物プランクトンや大型の捕食者の死骸や排せつ物が海の深層に沈降し、垂直方向の流れも発生する。

また、大気と海水の間での循環や生物を介した循環など比較的短期的な循環の他に、タイムスケールの大きい長期的循環が存在する。地球上の炭素のほとんどは、動植物の死骸や排せつ物が沈殿した炭酸カルシウム（石灰岩など。サンゴ礁や鍾乳洞を形成。）や、古い時代の生物の有機質が地下で変化してできた石炭・石油などの形で固定化されている。

（19年度環境白書（環境省）より要約）

海洋の深いところの海水の炭素観測で、1980年—2005年で53ギガトン増えている。年間2ギガトンの増加している。排出されたCO₂は、海洋に吸収され、海洋の大循環により深いところで1.6ギガトン、浅いところで0.6ギガトン吸収している。これらは海洋研究の結論である。海の循環が続けば、深層吸収の1.6ギガトンが安定して継続し、半減すれば、大気濃度は止まる。これをモデルで計算しているグループもいて、大気濃度の安定は、気候の安定でもある。450ppm、550ppm、650ppmをゼロまで減らせなくても、排出量を最終的に今より1ギガトン～2ギガトン落としてやれば、大気濃度が安定し、それからは下がり始める。まずは、安定化させることだ。現在の排出量より2100年でCO₂排出量を8割減、2050年までにCO₂排出量を半減できれば、気温上昇を2℃に何とか軟着陸することができる。それでもサンゴには影響する。これがヨーロッパも含め、現実的なところで、それ以上気温が上がれば、地球が持たない。

まとめると、CO₂の海の循環の深層吸収により、2100年までにゼロにしなくても、8割減すれば、気温2℃の上昇で抑えられる。通過年の2050年にCO₂半減を確認する。ただし、海の比べ、陸の生態系は長く続かないのではないかと懸念される。そのため、森林破壊防止活動が重要となる。

6. 市民の行動について

CO₂削減のためには、いつの時代の状況まで戻れば良いか。1960年代に日本は高度成長にあったが、石油危機により、省エネを実施した。1973年から1987年まで14年間をみると、GDPを上げながらCO₂を上げないで生産効率を上げた。社会全体のエネルギー効率が上がった。1987年以降、竹下内閣でふるさと創生事業、24時間テレビ、コンビニが増え、車の3ナンバーの優遇税制など社会の物質を増やすことが行われ、社会が膨らみ大きく変わった。1960年代は家庭の電力消費量は、75kwhであったが、2000年には4倍以上の290kwhになっている。原因は、家庭電気器具の数も増えたが、種類も増えたことである。二階建ての家庭の暖房便座は、2台ある。暖房便座1台が冷蔵庫2台分の電力を消費するため、家庭で冷蔵庫4台を持つことになる。

「脱温暖化2050プロジェクト」に示す暮らしの豊かさを変えないでエネルギー効率を年々3.5%上げる政策は、私は無理であると考え。従来のエネルギー効率の改善は、1.5～2%であり、2%の改善を進めると2050年までには、0.98の40乗で半減する。日本など先進国は、7～8割減が必要となるため、今の物質過剰な暮らしを3割削減すれば、2050年までにCO₂半減でき

る。これを考えるべきだ。今の家庭で考えると、TV、PC、電子レンジ、電気給湯ポット、暖房便座、車使用で3割削減させる。コンセントを抜き、TVを毎日見ない。車は大きな荷物が出る買い物の時だけ使い、普段は電車やバスを使う。暖房便座は、お客さんが来た時に使う。贅沢じゃない暮らし、みみっちいとは感じない暮らし方を指す。エネルギー政策の効率化には限界があり、電力の整備には時間がかかる。社会工学、人間工学を考えて、産業面からも工夫し、日常的には電力を使う回数を減らし、生活を楽しみながら、たまに贅沢をするという意識を変えることが重要である。

「脱温暖化2050プロジェクト」について

環境省の運営する競争的研究資金である地球環境研究総合推進費の戦略的研究プロジェクトとして、2004年にスタートした「脱温暖化2050プロジェクト」は2008年度で前期研究期間を終了し、研究成果が公表された。

報告は「我が国が、2050年までに主要な温室効果ガスであるCO₂を70%削減し、豊かで質の高い低炭素社会を構築することは可能である」と結論づけ、以下を発表した。

<削減可能性とそのコスト>

- ・ CO₂排出量70%削減は、エネルギー需要の40~45%削減とエネルギー供給の低炭素化によって、可能となる。需要側のエネルギー削減は、一部の部門でエネルギー需要増があるものの、人口減や合理的なエネルギー利用によるエネルギー需要減、需要側でのエネルギー効率改善で可能となる。
- ・ エネルギー供給側では、低炭素エネルギー源の適切な選択（炭素隔離貯留も一部考慮）とエネルギー効率の改善の組み合わせで、CO₂排出量70%削減が図られる。
- ・ 2050年CO₂排出量70%削減に関わる技術の直接費用は、年間約6兆7千億円~9兆8千億円である。これは想定される2050年のGDPの約1%程度と見られる。なお、必ずしも温暖化対策が主目的ではない、国際競争力強化、将来の安全・安心で住みやすい街づくり、エネルギー安全保障等のために実施されるインフラ投資等の対策コストは含んでいない。

<分野別対策>

各部門でのエネルギー需要量削減率（2000年比）は以下のように見積もられる。

- ・ 産業部門：構造転換と省エネルギー技術導入等で20~40%。
- ・ 運輸旅客部門：適切な国土利用、エネルギー効率、炭素強度改善等で80%。
- ・ 運輸貨物部門：輸送システムの効率化、輸送機器のエネルギー効率改善等で60~70%。
- ・ 家庭部門：利便性の高い居住空間と省エネルギー性能が両立した住宅への誘導で50%。
- ・ 業務部門：快適なサービス空間／働きやすいオフィスと省エネ機器の効率改善で40%。

<長期政策の必要性>

・ 今のままの高炭素排出インフラへの投資を継続しないために、早期に低炭素社会のイメージを共有し、転換に時間のかかる国土設計、都市構造、建築物、産業構造、技術開発等に関する長期戦略を立て、計画的に技術・社会イノベーションを実現させる必要がある。

以上