

新型コロナウイルス ワクチン接種後の社会における感染拡大

京都大学

古瀬 祐気

決定論的SIRモデルを用いたシミュレーションA

希望者へのワクチン接種が完了したとする状態で
次ページ以降のさまざまな仮定にもとづき感染拡大をシミュレーションし、
その結果から、1流行シーズン（150日間）での累計死亡者数を算出した。

① 感染拡大

新型コロナウイルスの基本再生産数：3.5 / 5.0 / 7.5

※ 新型コロナウイルス発生当時のウイルス株で2.5程度、アルファ株で3.5程度、現在流行しているデルタ株は5～9程度と推定されている

※ 「同年代間は、異なる世代間よりも感染を広げやすい」・「20～50代は、小児あるいは高齢者と比べて感染を広げやすい」とする2点の異質性を考慮している

② （ワクチン未接種での）病原性

死亡率： 60代～ 5.7%、40～50代 0.2%、 20～30代 0.01%、～10代 0.005%

※ 小児に関しては感染者数が少ないためにデータが十分でなく、仮に20～30代の半分であるとした

※ デルタ株によって病原性が上昇している可能性、特異的な抗ウイルス薬の使用によって致死率が低下する可能性は本シミュレーションでは考慮されていない

③ ワクチンの想定

【非常に効果的】 感染予防90%、入院・重症化・死亡予防95%（従来報告されている効果）

【効果的】 感染予防70%、入院・重症化・死亡予防90%（デルタ株に対しての効果低減を考慮）

※ また、ワクチン接種者がブレイクスルー感染を起こした場合、そこを起点とした二次感染はワクチン未接種者よりも若干起こりにくいとする効果も考慮されている

※ ワクチンの効果が年代ごとに異なる可能性や、経時的に減弱していく可能性は本試算では考慮されていない

④ 公衆衛生的対策（接触減）のイメージ

接触0%減：2019年以前の生活様式

接触40%減：（緊急事態宣言のない状態で）コロナ禍の生活様式

計算の根拠 | 緊急事態宣言のない状態（2020年12月ごろ）で実効再生産数2.5→1.5程度

生活の様子 | ほとんどの人はマスク、多くの人は3密を避ける意識（、地域によっては飲食店の時短営業）

接触65%減：2回目の緊急事態宣言レベル

計算の根拠 | 2021年1～2月ごろで実効再生産数2.5→0.8程度

生活の様子 | 上記＋人の多く集まる機会や場所の制限、飲食店の時短営業

接触75%減：3回目以降の緊急事態宣言レベル

計算の根拠 | 2021年3～4月ごろ（感染力1.3倍のアルファ株が主流）で実効再生産数 $2.5 \times 1.3 \rightarrow 0.8$ 程度

生活の様子 | 上記＋酒類提供の制限（今後は、飲食店の人数制限も）

接触80%減：1回目の緊急事態宣言レベル

計算の根拠 | 2020年4～5月ごろで実効再生産数2.5→0.5程度

生活の様子 | （未知の感染症への危機感が強く）多くの人がステイ・ホームを実施。飲食店や商業施設も多くが休業

⑤ 比較の基準

死亡者数：インフルエンザの年間超過死亡者数（概算推定）1万人

⑥ ワクチン接種率（国際医療福祉大学 和田教授の研究結果にもとづく）

最低目指したいシナリオ：60代～ 80%、40～50代 60%、20～30代 45%

（ワクチンを接種したいと回答した割合）

ありえるシナリオ：60代～ 85%、40～50代 70%、20～30代 60%

（「ワクチンを接種したいと回答した割合」+「まだ様子を見たいと回答した割合の半分」）

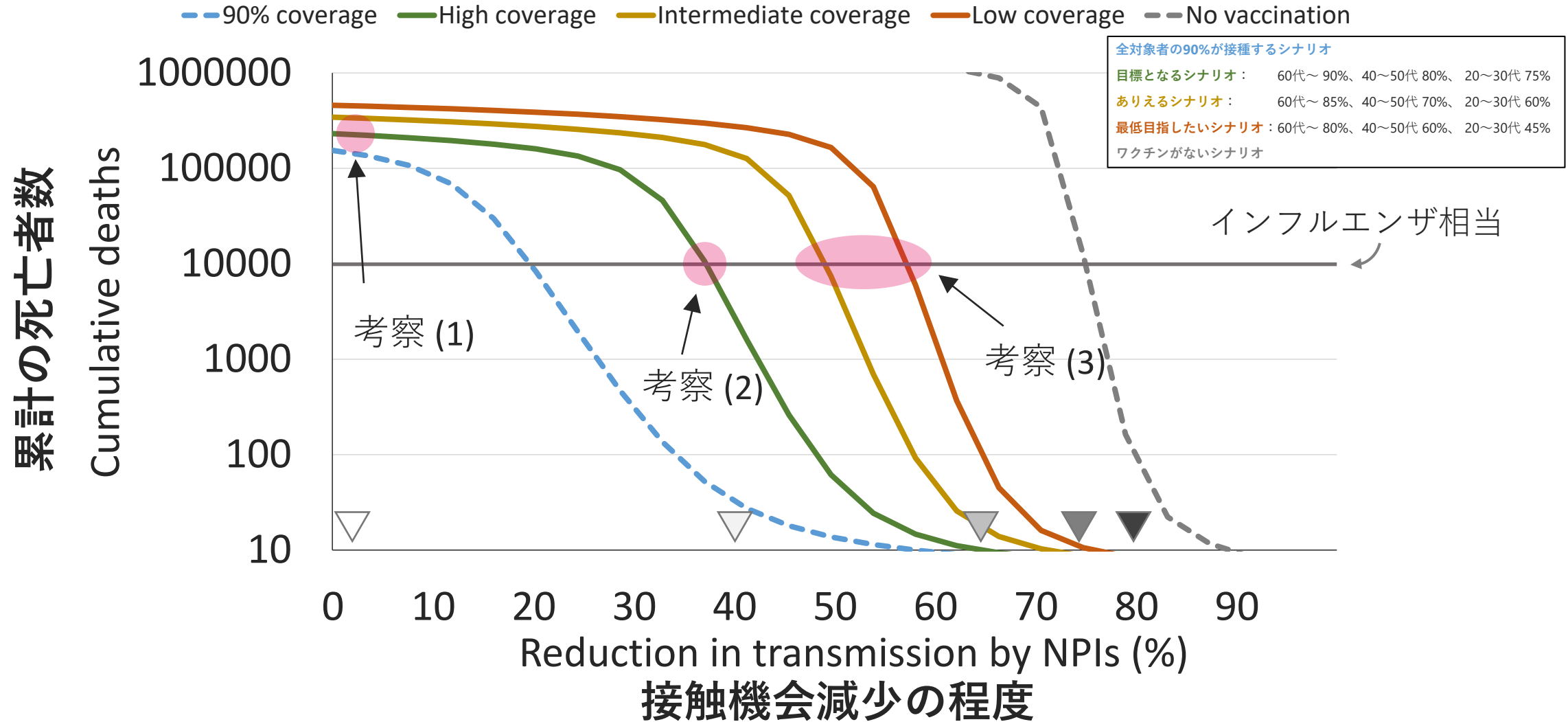
目標となるシナリオ：60代～ 90%、40～50代 80%、20～30代 75%

（「ワクチンを接種したいと答えた割合」+「まだ様子を見たいと回答した割合」）

※ほかに、「**全対象者の90%が接種するシナリオ**」、「**ワクチンがないシナリオ**」も検討している

※12～19歳に関しては予測が難しいが、全シナリオにおいて20～30代と同じであるとした

R=5、ワクチン【効果的】



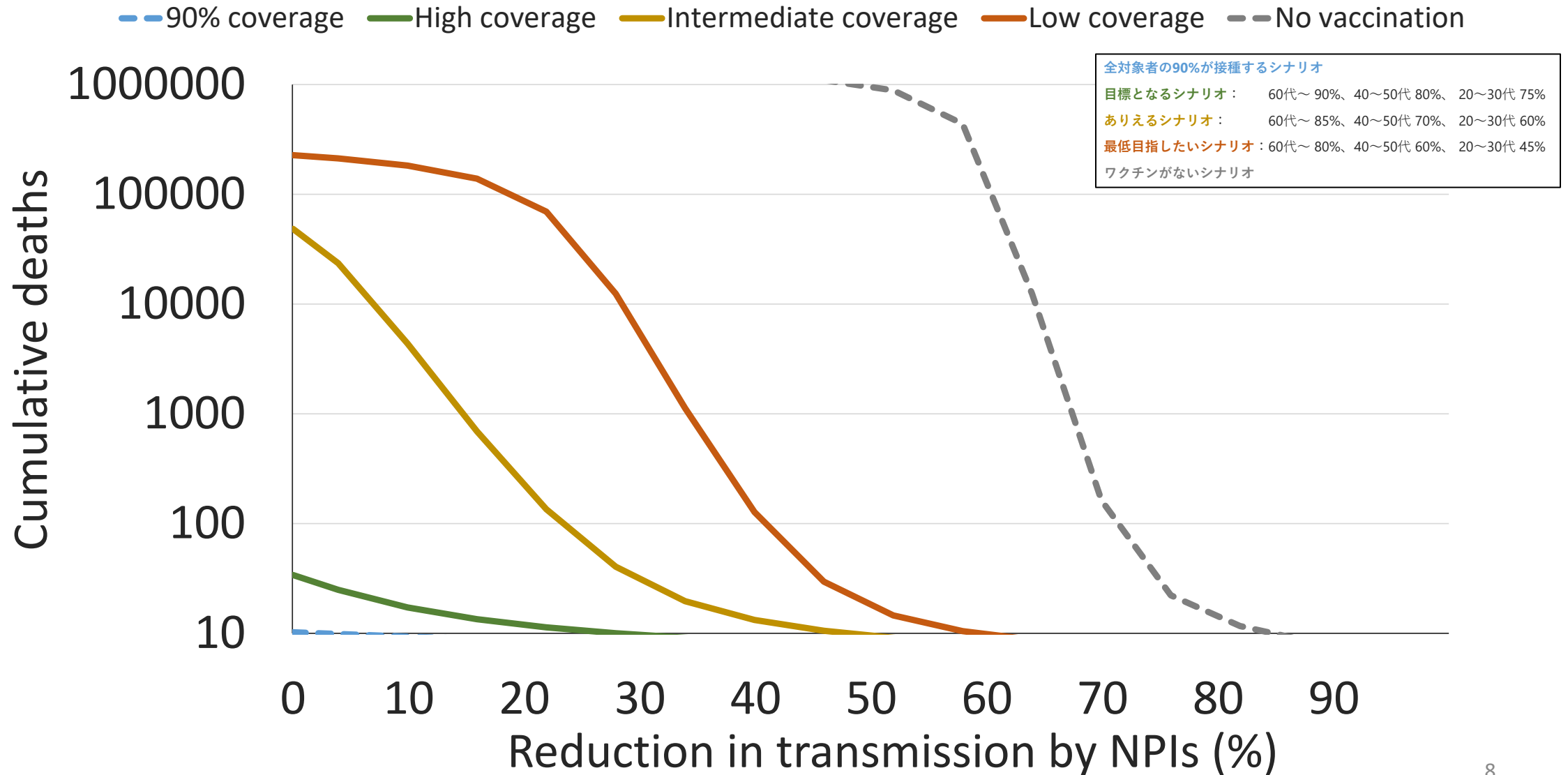
▽ 2019年以前の生活 ▽ コロナ禍の生活 ▽ 緊急事態宣言レベル ▼ 強い制限を伴う緊急事態宣言レベル ▼ ステイ・ホーム

(詳細は、想定④を参照)

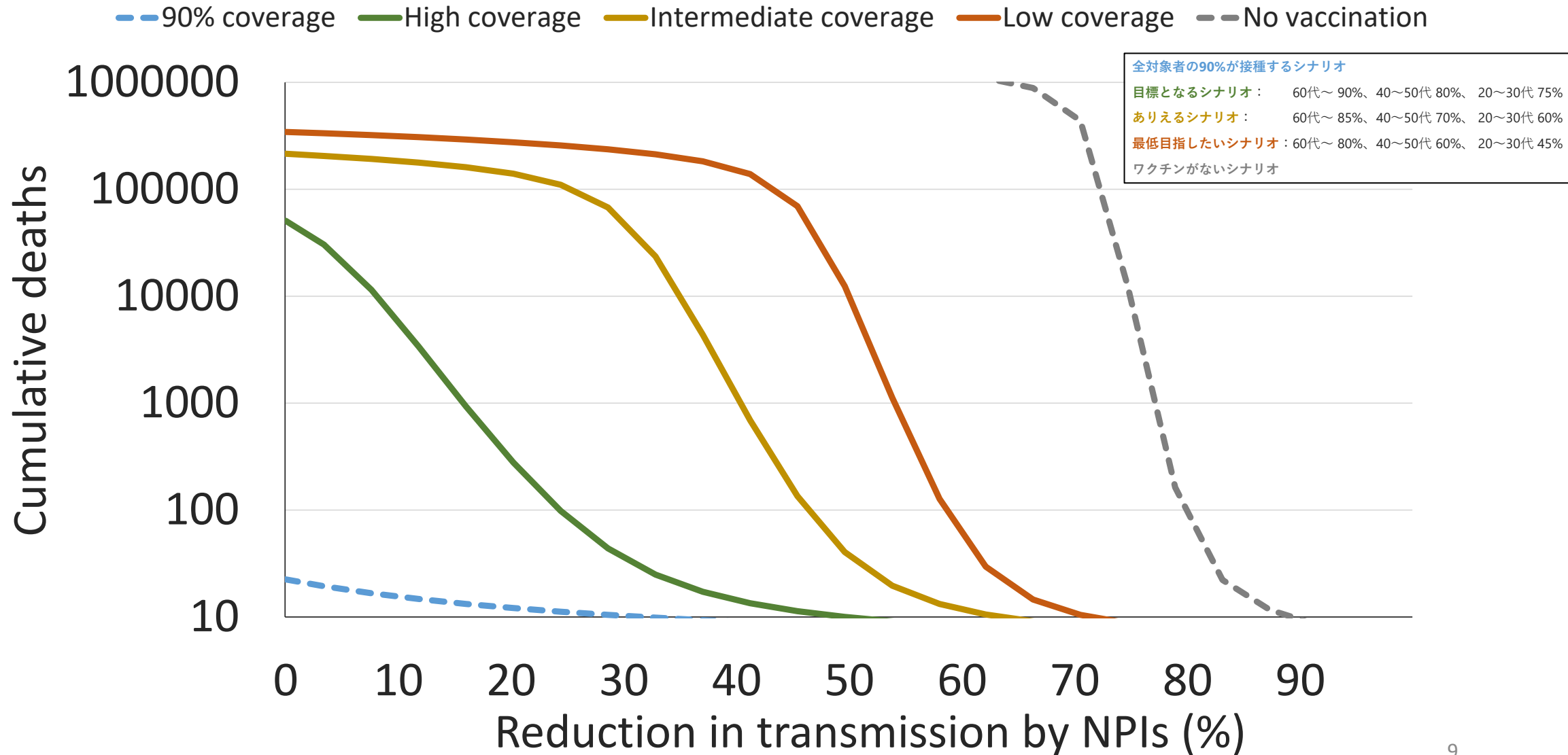
考察・まとめ1

- (1) 流行するウイルスの基本再生産数が5だとすると、**接種が最も進んだ想定**である「**目標となるシナリオ**」においても、**2019年以前の生活様式**に戻れば、**インフルエンザを大幅に上回る規模の死亡者**（10万人以上）が発生する恐れが大きい。
- (2) ただし、上記のシナリオであれば、**2020～2021年の生活様式**（接触40%減程度）を**維持**できれば10万人を超えるような死亡者や、病床が逼迫するほどの医療負荷は発生せず、いわゆる“**ウィズ・コロナ**”のような社会を達成できる可能性がある。
- (3) 「**最低目指したいシナリオ**」あるいは「**ありえるシナリオ**」程度の接種率の場合は、接触機会を50～60%減らすことでインフルエンザ相当の死亡者数（年間1万人）となる。
- つまり、この場合は、感染拡大や医療体制の逼迫状況に応じて、**今後も重点措置や緊急事態宣言のような強い対策**を打ち出したり解除したりを**繰り返していくような社会**となる可能性が高い。（スライド13～17枚目、シミュレーションBを参照。）
 - ただし、想定③に記した以上に変異株に対するワクチン効果の減弱が大きかったり、免疫記憶の経時的な減弱などによってワクチンの効果が想定以下であった場合には、それぞれのシナリオにおいてより高い接種率を達成する必要がある。
- ※ 本試算・考察において、新型コロナウイルス感染による後遺症の影響、あるいは他疾患にあたえる間接的な影響を含めた疾病負荷は考慮されていない。さらに、接触減を目指す公衆衛生的な対策によって起こりうる経済的な損失やそれに伴う心理的負荷・疾病負荷（自死など）とのバランスも合わせた議論が必要である。

R=3.5、ワクチン【非常に効果的】

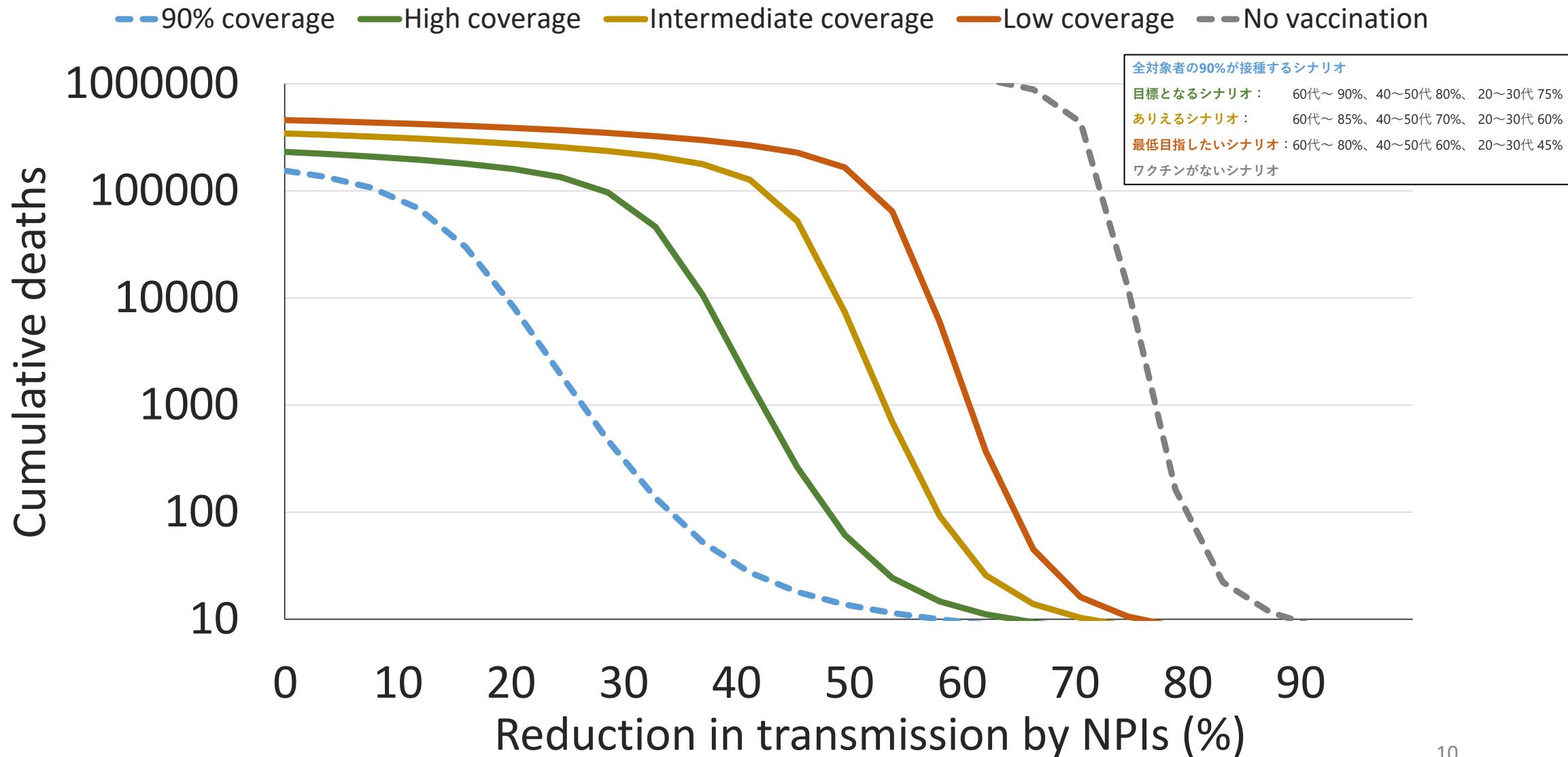


R=5、ワクチン【非常に効果的】

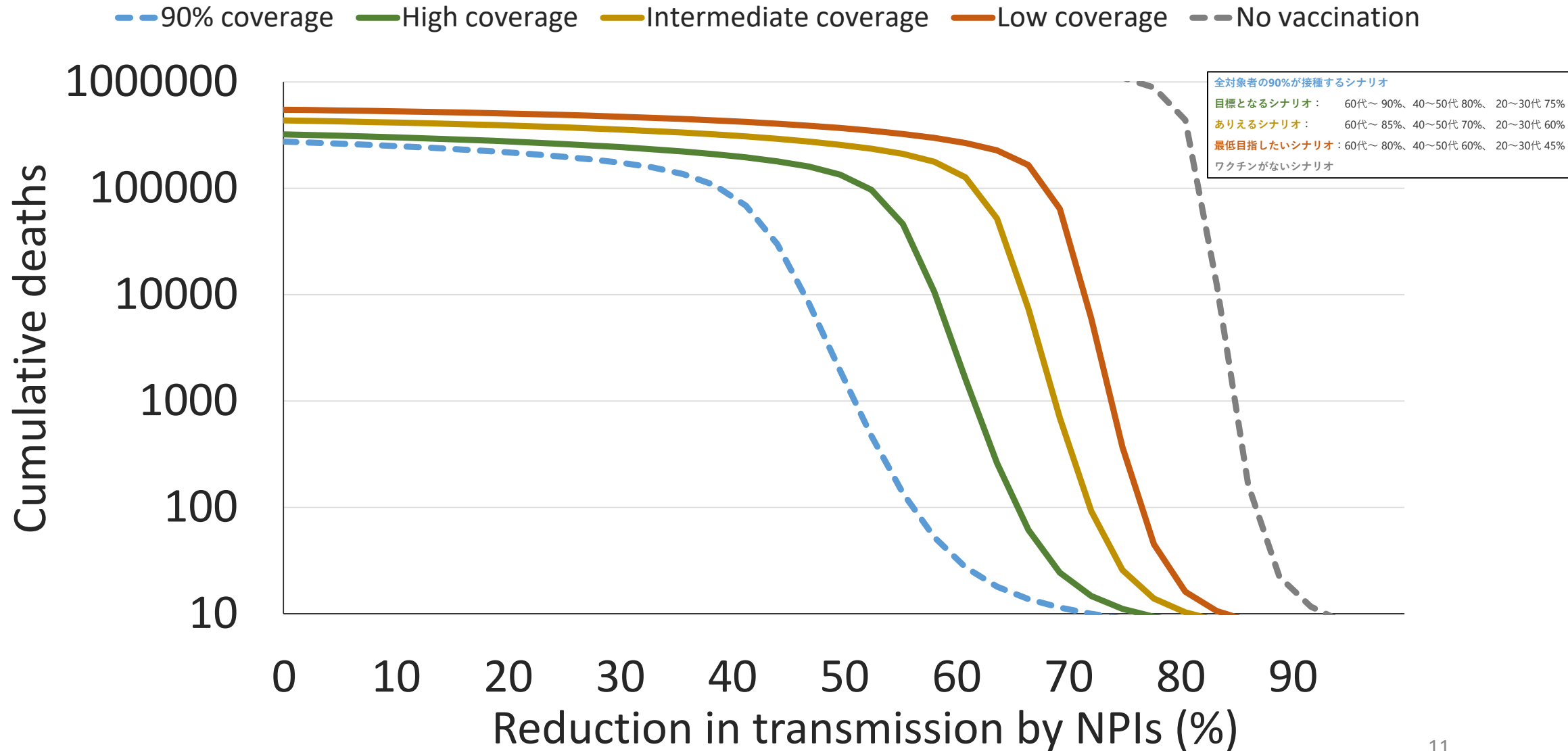


R=5、ワクチン【効果的】

スライド6の再掲



R=7.5、ワクチン【効果的】



考察・まとめ2

- スライド8～11枚目に、そのほかの前提条件の解析結果を示した。図の読み方については、スライド6～7枚目を参照。
- 流行するウイルスの感染力がアルファ株程度であれば「**最低目指したいシナリオ**」で、デルタ株程度の感染力であってもワクチンが従来株相当に【非常に効果的】であれば「**ありえるシナリオ**」で、2020～2021年の生活様式（接触40%減程度）からの出口戦略を議論することが可能であったかもしれない。
- もしデルタ株あるいは今後発生し流行するかもしれない新たな変異株の感染力が基本再生産数7.5程度であり、ワクチンの効果が【非常に効果的】ではなく【効果的】程度だった場合（想定③を参照）には、「**目標となるシナリオ**」あるいは「**90%の接種率シナリオ**」だとしても、今後も重点措置や緊急事態宣言のような強い対策が必要となる可能性が高い。

決定論的SIRモデルを用いたシミュレーションB

希望者へのワクチン接種が完了したとする状態で
一定の「接触減がベースにある」社会となったときに、
感染による直接的な死亡者数や医療体制の逼迫を防ぐためには
どの程度強い対策が必要となるのか、1年間の経時的な感染拡大を試算した。

シミュレーションAの想定に加えて、次ページ以降の仮定を置いている。

②'（ワクチン未接種での）病原性

重症化率：60代～ 8.5%、40～50代 1.0%、 20～30代 0.06%、～10代 0.03%

※ 小児に関しては感染者数が少ないためにデータが十分でなく、仮に20～30代の半分であるとした

④' 社会のありかた

2020年の生活様式で達成された「接触40%減（マスク着用・3密を避ける・要請のない自粛）」
あるいは、もう少し緩和された「接触20%減（出口戦略）」がベースにあるとした。

※ スライド4枚目想定④を参照

⑦ 強い対策（緊急事態宣言・重点措置など）

入院を必要とする重症者が2000人を超えた時点で強い対策が打たれ、実効再生産数が「接触70%減」相当に低下するとした。強い対策は60日間で解除される。

※ これまでの日本における最大値は、約2000人程度である

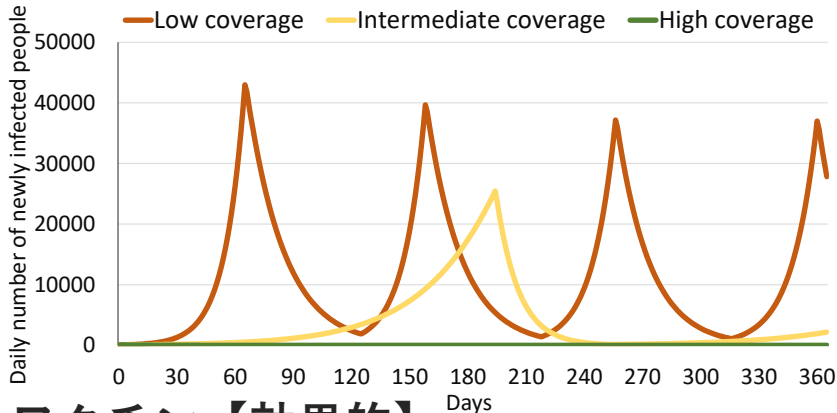
⑧ 感染力の変動

（気温の変化や季節的な行事による影響は）考慮していない。

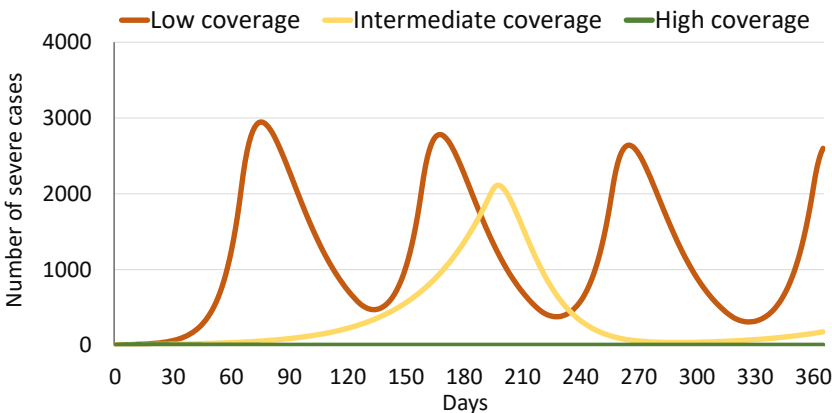
R=5 | 接触**40%減**がベースにある社会（強い対策が打たれた時には**70%減**）

ワクチン【非常に効果的】

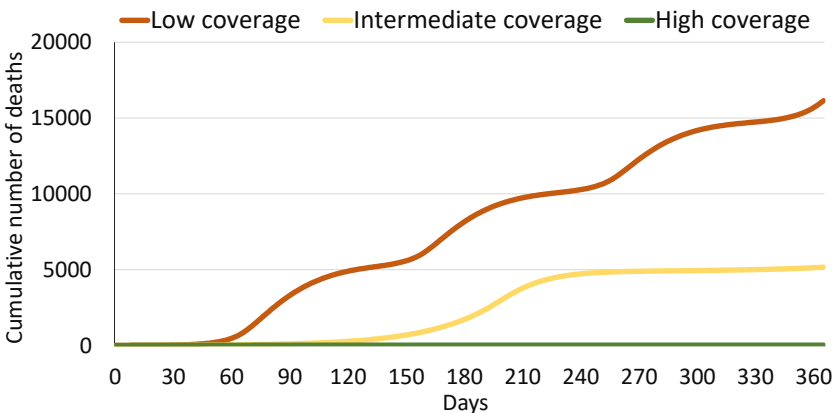
感染者数
Infected people



重症者数
Severe cases

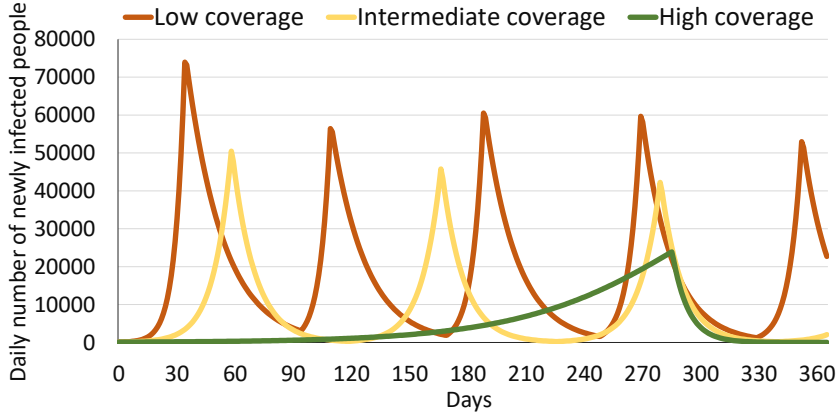


死亡者数（累計）
Deaths

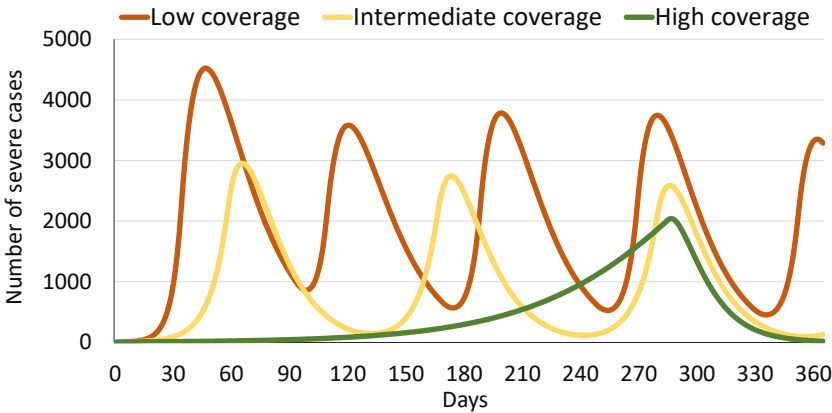


ワクチン【効果的】

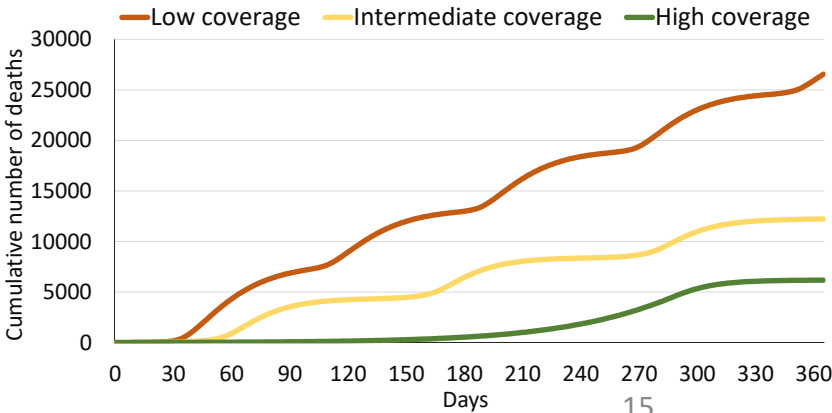
感染者数
Infected people



重症者数
Severe cases



死亡者数（累計）
Deaths

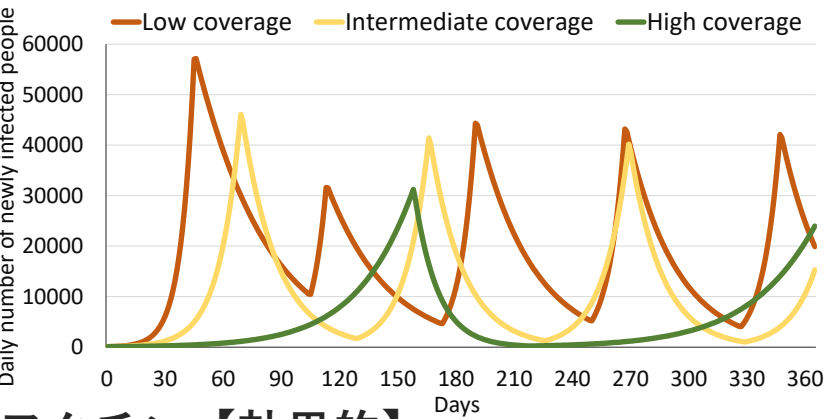


目標となるシナリオ： 60代～ 90%、40～50代 80%、 20～30代 75%
ありえるシナリオ： 60代～ 85%、40～50代 70%、 20～30代 60%
最低目指したいシナリオ： 60代～ 80%、40～50代 60%、 20～30代 45%

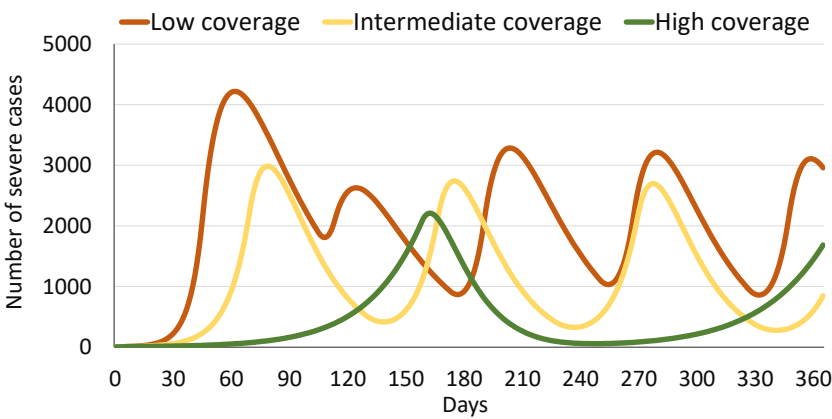
R=5 | 接触20%減がベースにある社会（強い対策が打たれた時には70%減）

ワクチン【非常に効果的】

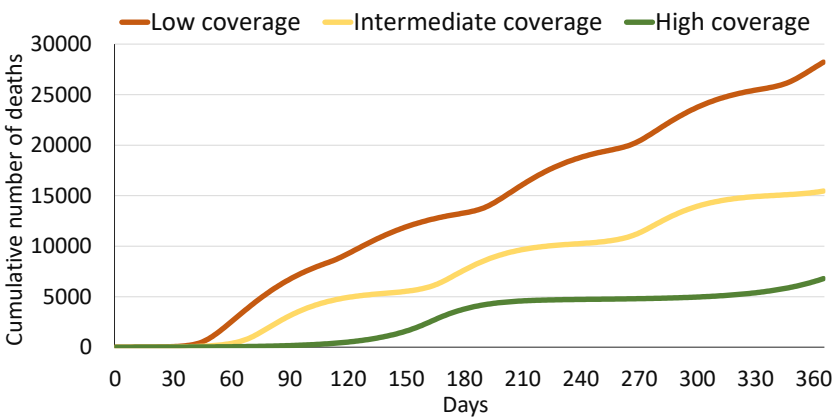
感染者数
Infected people



重症者数
Severe cases

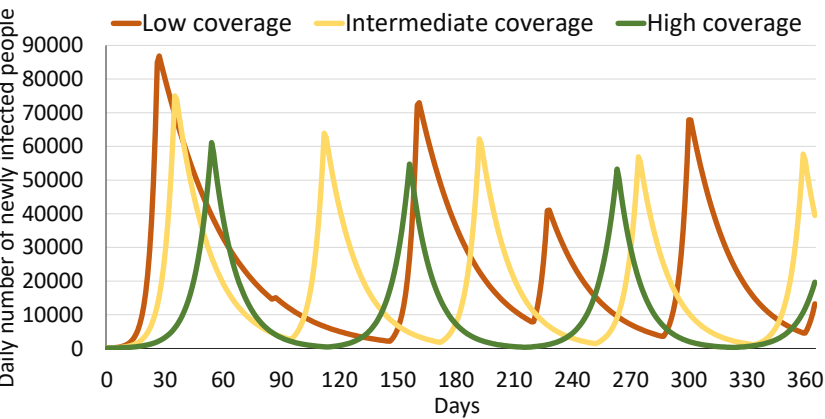


死亡者数（累計）
Deaths

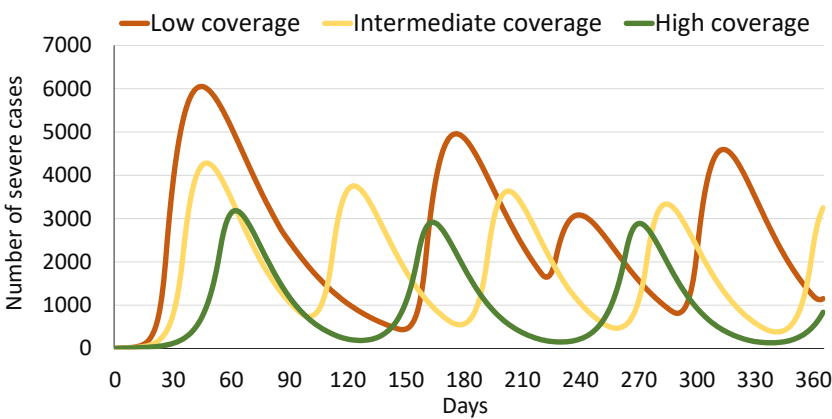


ワクチン【効果的】

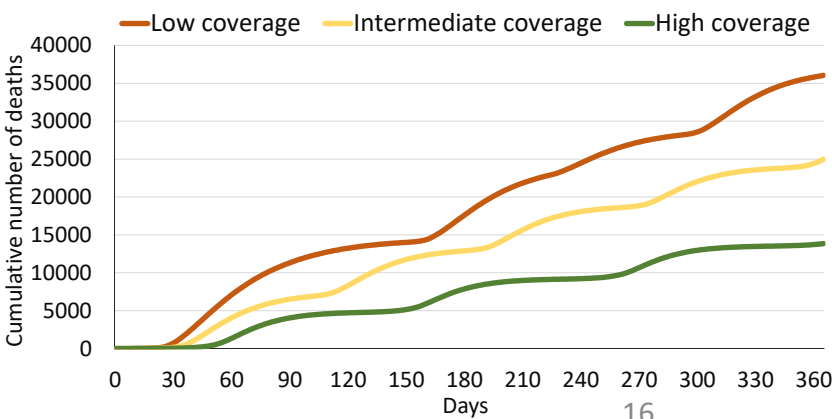
感染者数
Infected people



重症者数
Severe cases



死亡者数（累計）
Deaths



考察・まとめ3

- 「**目標となるシナリオ**」であれば、「**接触40%減の社会**（マスク着用・3密を避ける・要請のない自粛） x **【効果的なワクチン】**」あるいは「**接触20%減の社会**（出口戦略） x **【非常に効果的なワクチン】**」で、年に1回程度の強い対策を要するような社会となる可能性がある。

※ そのような社会を達成できたとしても、ウイルス流行の季節性変動、人の移動が活発になる行事、個人の行動様式の変化によって、想定した以上の頻度で強い対策が必要となる状況は発生しうる。

※ ワクチンの**【非常に効果的】**・**【効果的】**に関しては、スライド3枚目想定③を参照。

- 「**ありえるシナリオ**」であれば、「**接触40%減の社会** x **【非常に効果的なワクチン】**」の場合は上述のような社会を目指せる。
- 「**ありえるシナリオ**」であっても、「**接触20%減の社会**」あるいは「**ワクチンが【効果的】程度**」の場合は繰り返しの強い対策が今後とも必要となる。
「**最低目指したいシナリオ**」程度では、たとえ「**接触40%減の社会を維持し、ワクチンが【非常に効果的】**」だったとしても、同様である。

※ ただし、ワクチン接種証明や（直近の）陰性証明などを活用することで、実際の接触減以上に感染機会を下げることは可能になるかもしれない。これに関しても本試算では考慮されておらず、今後の十分な検討を要する。

※ ワクチンの効果として、従来株に対する**【非常に効果的】**と、デルタ株に対する**【効果的】**の2パターンを試算している（想定③）。新たな変異株の出現や免疫の経時的な減弱によってさらに効果が劣る可能性もある。一方で、ブースター接種によって効果が回復されたり、変異株にも対応するような広範の免疫を獲得できた場合には、再度**【非常に効果的】**程度となることもありうる。