

埋土種子を用いた沈水植物再生の技術的検討

TECHNICAL EXAMINATION OF RESTORATION OF SUBMERGED PLANTS USING SEEDBANK

林 薫¹・深水英司²・裏戸秀幸³

Kaoru Hayashi, Eiji Fukamizu and Hideyuki Urato

¹千葉県県土整備部河川環境課 (〒260-8667 千葉市中央区市場町1-1)

²正会員 工修 株式会社 三洋コンサルタント (〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町1丁目19番3号)

³株式会社 水辺環境研究所 (〒103-0004 東京都中央区東日本橋3丁目6番20号)

We created An artificial pond in A reclaimed land of Lake Kita-Inbanuma and spread it seedbank at the bottom of pond to restore the submerged plants. Then we knew it submerged plants were re-colonized from the seed banks, and examined condition of the growth and appropriate method of managements of submerged plants.

As a result we recognized that even if we use subsurface water if there are the number of *Paraemon paucidens* to large crustacean zooplankton and increase of phytoplankton is suggested. Then we predict that submerged plants will be decline by low transparency. Therefore when in germination of submerged plants we should do it remove animals. And if it occurs A great increase of phytoplankton, we think we should do it hurry it up turnover pond water.

Key Words : seedbank, submerged plants, zooplankton, phytoplankton, *Paraemon paucidens* management

1. はじめに

水生植物による水質浄化は、環境負荷が小さい点や、生物多様性向上に有効な点などにより、近年特に注目されている¹⁾。水生植物は生活形によって区分されるが、植物体のほとんどが水中に存在する沈水植物は、特に優れた浄化機能を有するタイプとして着目され、その効果が評価されている²⁾³⁾。しかしながら、沈水植物は水質汚濁や河川改修等によって地域的な絶滅が進んでおり⁴⁾、印旛沼においても、過去1964年に20種であったものが、1977年に16種⁵⁾、2001年には2種⁶⁾まで減少している。

印旛沼での種類数減少の要因としては、干拓による浅水域の減少と汚濁負荷量増加が指摘され、水面下で光合成を行う沈水植物には、濁りによる光条件の悪化は致命的となる⁷⁾。このような条件下での群落再生には、種子、孢子、無性芽などの散布体を含む土砂を、発芽生育に適した環境に撒きだす方法があり⁸⁾、印旛沼でも散布体バンクの分布や種組成の解明が進められている⁹⁾。

千葉県では、散布体(埋土種子)による沈水植物の再

生技術を、印旛沼において確立することを目指し、生育可能な光条件を確保できる深度、波浪の抑制、再生のための生育適地の検討などを進めている。並行して、堤内地に野外の人工池を設けて、発芽に好適な条件を提供して沈水植物群落を再生している。再生した沈水植物は、種子資源として再生事業に活用されるほか、水質やプランクトンの周辺条件を含めた観測と、維持管理を継続して行うなかで、生育を左右する環境条件や、適切な対処法について知見の収集が図られている。本論文では、平成18年より開始した、実験池での沈水植物再生実験の成果について報告するものである。

2. 沈水植物再生実験の概要

(1) 実験池の概要

実験池は、成田市北須賀地区の北印旛沼沿拓地に位置する印旛沼漁業協同組合敷地内の旧養殖池を改良して造成した。造成に先立ち、池底に撒きだす干拓以前の沼底土壌であるシードバンク層(埋土種子層)が、現地盤から約60cm深度以下に存在することを確認した。シードバ

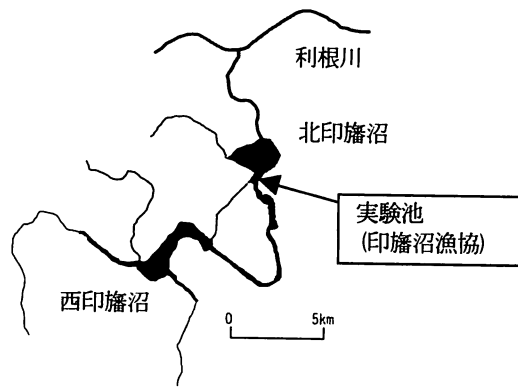


図-1 実験池の位置

ンク層を造成前に採取、仮置きし、池底の造成時に30cm厚で敷き均した。造成は平成18年3月中旬から4月下旬にかけて行った。実験池は、比較実験ができるよう同形の池を隣接して2面造成した。池の形状は、1辺30mの方形、最大水深1.5mとし、西側の1辺は緩傾斜(1:12)とした。水深は、排水口の高さの調節によって変更可能とし、供給水は2つの池ともに漁業協同組合が汲み上げた同一の地下水とした。

(2) 調査の内容

a) 植物調査

水深別に植物を把握するベルトトランセクト調査、種のリストアップを行うフロラ調査、植生図作成調査、バイオマス調査を実施した。

b) 環境調査

水温、流量、水深、光量子の減衰率(水表面に届いた光に対する水中の光量の割合)、溶存酸素濃度(DO)、水素イオン指数(pH)、電気伝導度(EC)を、2年目までは毎週、3年目は隔週で測定した。

c) 水質調査

以下の項目について、2年目までは毎週、3年目は隔週で調査した。

窒素:全窒素濃度(TN)、アンモニア態窒素濃度($\text{NH}_4\text{-N}$)、亜硝酸態窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)、硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)

リン:全リン濃度(TP)、溶存反応性リン濃度(SRP)

炭素:溶存態無機炭素濃度(DIC)、溶存態有機炭素濃度(DOC)

懸濁物質:懸濁物質濃度(SS)、クロロフィルa濃度(Chl. a)

d) 動植物プランクトン調査

2年目より月1回程度の頻度で実施した。NXXX25のプランクトンネットを用いた。

e) 魚類、甲殻類の捕獲・除去

各池1点に定置網を設置し、継続して捕獲を行い、動物相の把握と除去を実施した。

(3) 実験初年度(平成18年度)の概要

a) 目的と実験条件

沈水植物の発芽の有無、発芽種を確認するとともに、



写真-1 初年度の実験池1の8月の状況

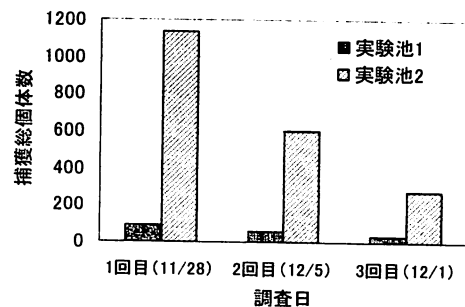


図-2 初年度の調査終了時における動物捕獲結果

隣接して造成した2つの池のシードバンク層が等しいことを検証するために、水管理はじめ両池の条件を同一とした。水深は、印旛沼の現行管理水位である0.8mに固定した。実験は6月に開始した。

b) 結果の概要

実験池1では、千葉県レッドリスト¹⁰の重要保護生物に該当するオオトリゲモ、環境省レッドリスト¹¹の絶滅危惧ⅠB類に該当するトリゲモ、コウガイモを主とする沈水植物群落が形成され、秋季には水深にかかわらず池底のほとんどを被覆した(写真-1)。実験池2では、コウガイモやオオトリゲモ、トリゲモは発芽したものの、夏季以降アオコが発生し、生育状態は実験池1と比較して著しく不調であった。

植物プランクトン量に相当するChl. a濃度は、実験池1では、実験開始から9月まで $10\mu\text{g/l}$ を超えなかったのに対して、アオコが発生した実験池2では、8月下旬に $100\mu\text{g/l}$ を超える水準に達した。

沈水植物生育終了後、実験期間中に両池で異なっていた可能性がある条件として、水生動物について調査した。11月から12月にかけて3回、刺網や、かごわな、ドウを用いて水生動物の捕獲を行ったところ、スジエビ捕獲個体数が、実験池1が175個体に対し、実験池2は2010個体で、大きな違いが確認された(図-2)。

(4) 実験2年目(平成19年度)の概要

a) 目的と実験条件

初年度における、実験池2の沈水植物生育不調の主要因が動物の干渉であることを検証するため、動物の除去

を条件に加えた。両池で、実験開始前に地引網で動物を除去し、実験期間中の4月から12月の間は、1箇所ずつ定置網を連続設置して、動物の捕獲除去を継続した。動物の増減と強い相関が考えられるプランクトンについても、期間中継続して調査を実施した。その他の条件は、基本的に初年度と同一とした。

また、スジエビの関与を直接検証するため、直径1mの円筒形の隔離水界を用いて、スジエビ有無の比較実験を5月から7月上旬にかけて行った。両実験池の水深50cm程度の場所に、各8つずつ隔離水界を設置、設置後電気ショッカーを用いて内部の動物を除去し、各池につき半数の4つの隔離水界にスジエビ5個体を投入して比較した。

b) 結果の概要

実験池1では、初年度から継続して、トリゲモ類を主とする沈水植物群落が発達し、夏季には池底一面をくまなく被覆した。実験池2では、コウガイモ群落は、主に池の縁辺部に部分的に分布し、面積的には池底の約1/3を被覆した。

Chl. a濃度は、実験池1で8月まで $10 \mu\text{g}/\text{l}$ 以下、実験池2では、 $20 \mu\text{g}/\text{l}$ 以下で推移し、実験池2では初年度と比較して大幅に低減された。また、実験池1、2ともにスジエビは9月まで確認されなかった。動物プランクトンは、甲殻類ミジンコ目、特に植物プランクトン抑制機能の高い大型種のDaphnia属¹²⁾が実験池1の4月において $49.6 \text{個体}/\text{l}$ 確認されたが、実験池2では調査期間中に確認されなかった。

一方、スジエビの比較実験の結果について、水質についてスジエビの有無で比較したところ、実験池2では、Chl. a濃度、T-N、リン等において、有意にスジエビ有りの隔離水界で高い結果となった（繰り返しのある一元配置の分散分析 $p \leq 0.01$ ）。

(5) 実験3年目（平成20年度）の概要

a) 目的と実験条件

実験池1がトリゲモ類を主とする沈水植物群落、実験池2がコウガイモ群落と、2つの池が異なる沈水植物群落を形成したことから、沈水植物の遷移を追跡し、また、異なる沈水植物相の池で形成される水質や、プランクトン群集について比較を行うこととした。基本的に、動物の継続除去など条件は2年目と同一とした。

b) 結果の概要

実験池1では、再びトリゲモ類を主体とする沈水植物群落が発達した。実験池2では、アオコが5月中旬に発生した。アオコ抑制対策として、水位を1mから0.5mに低下させ池の回転率を上げたところ、6月上旬にアオコは消失した。その後水位を段階的に上げ8月上旬に1mに戻したが、夏季以降、コウガイモ群落は拡大し、新たにトリゲモが生育を開始し、秋季にはコウガイモ群落に混

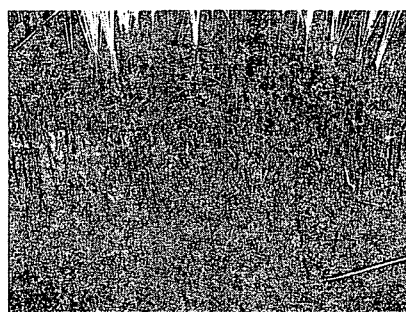


写真-2 実験池2で拡大したコウガイモ
水位低下後に拡大した

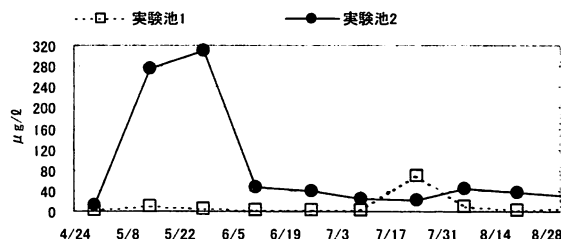


図-3 3年目のChl. aの変化

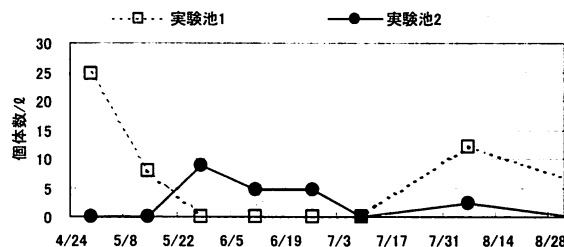


図-4 3年目の甲殻類ミジンコ類の変化
(体サイズ0.5mm以上の大型～中型種)の変化

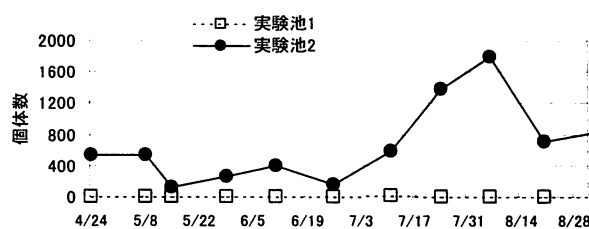


図-5 3年目のスジエビの変化

じってトリゲモ群落の点在が見られた。

Chl. a濃度は、実験池2で5月下旬に最大 $311 \mu\text{g}/\text{l}$ まで上昇したが、6月上旬に $47 \mu\text{g}/\text{l}$ まで低下し、以降は $50 \mu\text{g}/\text{l}$ を超えることなく推移した（図-3）。甲殻類の動物プランクトンで体サイズが0.5mm以上となる大型～中型の個体については、実験池1で4月の時点で多数確認されたが（図-4）、実験池2では5月上旬まで見られず、一方、スジエビは、実験池2で夏季にかけて著しく増加し、7月下旬に1380個体と多数捕獲された（図-5）。

また実験池1では、夏季に沈水植物群落内部で溶存酸素濃度が低下が観測され、7月下旬には、一時水面から40cmの水深で $2 \text{mg}/\text{l}$ を下回っていたが、実験池2ではこ

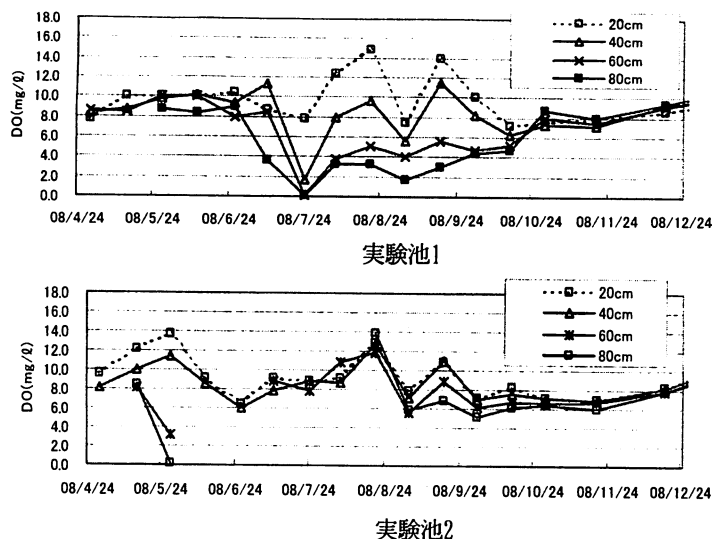


図-6 実験池1、2のDOの水深別の変化

のような事象は観測されず表層と底層の明瞭な格差は認められなかった（図-6）。

また、実験池1では、沈水植物と競合する植物として、水面上に葉を展開する浮葉植物のアサザが急速に繁茂し、池の水面約1/3を覆うまでに生育範囲を拡大した。

3. 実験結果の考察

(1) 植物プランクトン増殖に寄与する動物条件

実験の初年度は、同一箇所のシードバンク層を用い、地下水を供給し良好な光条件を提供したものの、実験池2ではアオコが発生し光条件が悪化、沈水植物は発芽したものの生育不良に終わった。実験期間中のデータがなく確証を得ていないものの、調査終了時の動物調査の結果から、実験池2において、初期段階にスジエビが混入したと推定された。肉食性の強いスジエビは、発生初期段階のゾエア幼生や稚エビの時期において、捕食対象として適切なサイズであり遊泳力も小さい甲殻類ミジンコ類を、好適な餌資源として消費したものと考えられる。実験池2でスジエビが増加し甲殻類ミジンコ類の捕食圧が高まった結果、捕食者の減少した植物プランクトンが増加し、アオコ発生に至り水の透明度が低下した可能性が指摘される。初年度の実験池1、2において、動植物プランクトンやスジエビ等が、沈水植物に及ぼしたと推定される作用のメカニズムは、図-7の模式図のとおり整理される。スジエビはじめ動物の除去を継続して実施し、スジエビが秋季まで捕獲されなかった2年目は、実験池2でも植物プランクトンは増加せずコウガイモ群落を形成した。再びアオコが発生した3年目は実験期間中、やはりスジエビが多数捕獲されており、スジエビと植物プランクトン増減は、整合する挙動となった。また、スジエビの有無による違いを直接検証するために実施した小隔離水界実験においても、スジエビ有りの隔離水界が、

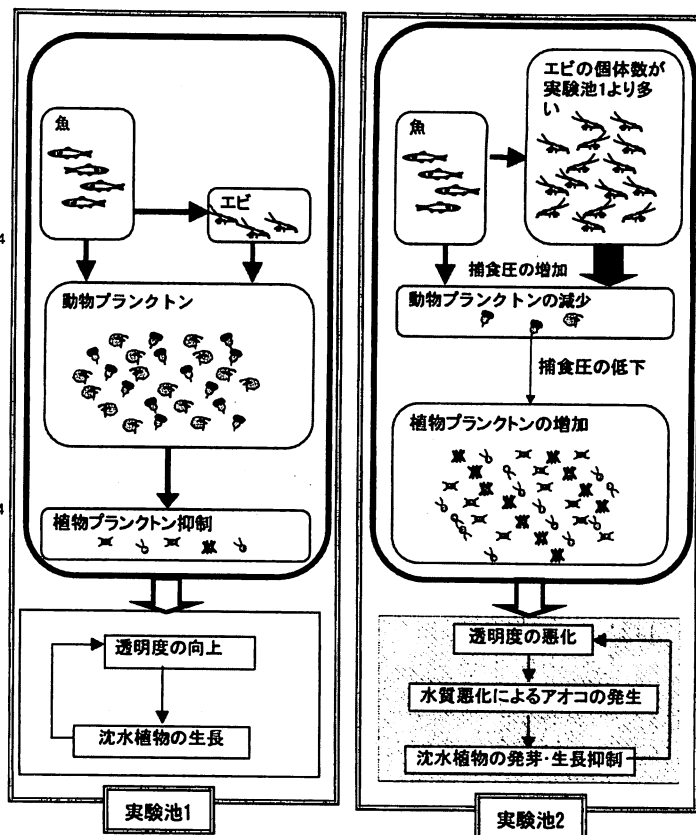


図-7 初年度の実験池で生じたと推定されるメカニズム

実験池2では多数のスジエビが動物プランクトンを捕食した結果、植物プランクトンが増殖したと推定される。

Chl. aやT-Nが有意に高いという結果を得た。水生動物の干渉を防止した効果については、霞ヶ浦で隔離水界を設置し浚渫土を撒きだした事例があり、設置2週間で甲殻類動物プランクトンが増加、植物プランクトンが減少し、透明度が上昇、沈水植物が出現したことが報告されている¹³⁾。また、いったん植物プランクトンが優占して濁った状態となると、光の減少により沈水植物が衰退し、底泥の巻き上げが増え、さらに濁りに拍車をかけ、植物プランクトンが優占した状態で安定することが知られており⁵⁾、初年度の実験池2はこの状態に陥ったものと思われる。

透明度の高い地下水を供給した場合にも、例えば実験池2のスジエビのように、動物によってプランクトン組成が変質し、沈水植物が悪影響を受けることが示唆された。沈水植物再生には、他の生物条件についても配慮し、特に初期段階には、プランクトン組成の均衡に留意し、一定量の動物除去も必要であると考えられる。

(2) 植物プランクトン増殖抑制のための池の回転率操作

3年目に実験池2で発生したアオコに対して、池の水位を下げ回転率を向上させたところ、植物プランクトン増殖が抑制され、沈水植物が大きく分布を拡大した。実験池2では、動物では、スジエビが夏季にかけて大きく増加しており、条件的には厳しいと推定されるものの、植

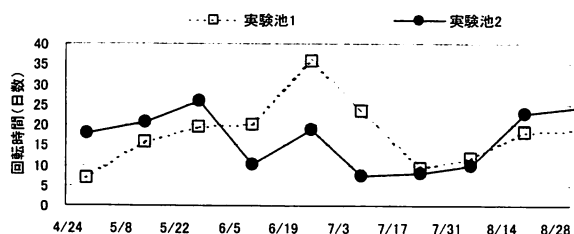


図-8 池の回転日数の変化

物プランクトンの滞留時間が短縮され池内での増殖を制御できたことが考えられる。流入量と池の容積、調査時の水深から算出した両実験池の8月までの回転日数は、実験池2のアオコ発生前は20日を上回る水準であったが、水位下げの管理期間中はほぼ10日以下の水準となっていた。この日数は、スジエビが多い条件下であることが前提であり一元的に閾値となる数値ではないが、悪条件での日数として目安となると考えられる。

(3) 長期間繁茂した沈水植物群落の管理

実験開始から3年間沈水植物の繁茂が継続した実験池1では、夏季、群落内部で溶存酸素の顕著な低下が観測され、還元傾向が強まる傾向にあり、水質面でマイナスの兆候が検出された。また、これまで沈水植物の除去は実施しておらず栄養の蓄積が進んでおり、今後は、一定の管理が必要と考えられる。

また、実験池1で浮葉植物のアサザが急速に繁茂し、沈水植物を抑制する水準となっており（写真-3）、他の競合種に対する管理も検討が必要となっている。



写真-3 実験池1で拡大する浮葉植物のアサザ(8月)

4. おわりに

本論文では、千葉県成田市北須賀地区の北印旛沼干拓地において沈水植物の種子を含む旧沼底の土を撒きだした人工池を造成し、沈水植物を再生させ、継続した観測と管理の結果から、沈水植物の生育を左右する条件や適切な管理手法について検討を行った。

実験の結果からは、透明度の高い地下水を供給しても、スジエビが一定量以上生息し動物プランクトン捕食圧が高まれば、植物プランクトン増殖を誘引し透明度低下、

沈水植物再生に悪影響が生じる可能性が高いことが示された。したがって、沈水植物再生にあたっては、特に開始初期段階において、植物プランクトンを増殖させないよう、プランクトン相の変質を避け、場合によっては、特定の動物の除去も必要と考えられた。

また、植物プランクトンが増殖した場合、水位下げにより回転率を高めて、植物プランクトンの滞留時間を短縮することが有効であり、スジエビの多い厳しい条件下でも、例えば、実験池2では10日以下の水準を確保することで植物プランクトン増殖が抑制された。

引用文献

- 1) 中村圭吾, 三木理, 島谷幸宏: 実大規模の浸透流方式湿地浄化法の開発と評価, 土木学会論文集VII, 678, 81-92, 2001.
- 2) 土山ふみ: ため池の透視度と水環境の関係について, 国立環境研究所研究報告, 183, 83-88, 2004.
- 3) 中村圭吾, 川村竹治, 西廣淳, 高村典子, 尾澤卓思: 沈水植物の有無が池の水質に与える影響, 第37回日本水環境学会年会講演集, 151, 2003.
- 4) 中村圭吾: 湖岸の保全と復元, 7, 30-35, 2002.
- 5) 千葉県史料研究財団: 2001, 千葉県の自然誌 本編5 千葉県の植物 2, 植生, 千葉県, 2001.
- 6) 河川環境管理財団: 2006, 第7回印旛沼水質改善技術検討会, 参考資料1, 東京, 2006.
- 7) 浜端悦治: 2005, 琵琶湖の沈水植物群落, 琵琶湖研究所報22: 105-119.
- 8) 鷺谷いづみ, 矢原徹一: 保全生態学入門, 文一総合出版, 東京, 1996.
- 9) 久城圭, 林紀男, 西廣島淳: 印旛沼(千葉県)湖底の散布体バンクにみる沈水植物再生の可能性, 水草研究会誌, 91, 1-6, 2009.
- 10) 千葉県環境財団: 千葉県の保護上重要な野生生物, 千葉県レッドリスト植物編, 2004年改訂版, 千葉県環境生活部自然保護課, 2004.
- 11) 環境庁自然保護局野生生物課: 2000, 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物—レッドデータブック—8 植物 I (維管束植物), 自然環境研究センター, 2000.
- 12) 花里孝幸: ミジンコ先生の水環境ゼミ, 地人書館, 東京, 2006.
- 13) 柚木秀雄, 高村典子, 西廣淳, 中村圭吾: 浚渫土に含まれる水生植物の散布体バンクとバイオマニピュレーションを活用して霞ヶ浦湖岸に沈水植物群落を再生する試み, 保全生態学研究, 4, 99-111, 2003.

(2009. 4. 9受付)

1. 在 1949 年以前，中国是一个半殖民地半封建国家。帝国主义列强在中国划分势力范围，进行经济掠夺和政治控制。封建地主阶级则剥削农民，维护封建统治。这种社会制度严重阻碍了中国生产力的发展，使中国长期处于贫穷落后状态。

2. 1949 年 10 月 1 日，中华人民共和国宣告成立，标志着中国历史进入了一个新的纪元。中国人民从此站起来了，成为国家的主人。

3. 新中国成立后，在毛泽东同志的领导下，中国人民进行了艰苦卓绝的社会主义革命和建设，取得了举世瞩目的成就。

4. 1978 年 12 月，党的十一届三中全会召开，作出了把党和国家的工作重心转移到经济建设上来，实行改革开放的伟大决策。

5. 改革开放以来，中国坚持以经济建设为中心，坚持四项基本原则，坚持改革开放，取得了举世瞩目的成就，人民生活水平显著提高。

6. 进入 21 世纪，中国进入全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化建设的新阶段。

7. 2001 年 12 月，中国正式加入世界贸易组织，标志着中国对外开放进入了一个新的阶段。

8. 2008 年 8 月，北京成功举办第 29 届夏季奥运会，向世界展示了中国悠久的历史和灿烂的文化。

9. 2012 年 11 月，党的十八大召开，确立了科学发展观作为党的指导思想，为全面建成小康社会指明了方向。

10. 2017 年 10 月，党的十九大召开，提出了新时代中国特色社会主义思想，为全面建设社会主义现代化国家提供了理论指导。

11. 2020 年 12 月，中国宣布全面建成小康社会取得伟大历史性成就，如期打赢脱贫攻坚战，如期全面建成小康社会。

12. 进入新时代，中国坚持以人民为中心的发展思想，统筹推进“五位一体”总体布局，协调推进“四个全面”战略布局。

13. 2022 年 10 月，党的二十大召开，进一步明确了全面建设社会主义现代化国家、全面推进中华民族伟大复兴的宏伟蓝图。

14. 当前，中国正处于实现中华民族伟大复兴的关键时期，我们将继续坚持党的基本路线，坚定不移走中国特色社会主义道路。

15. 我们将继续坚持以经济建设为中心，坚持四项基本原则，坚持改革开放，不断解放和发展社会生产力，实现国家现代化，实现人民共同富裕。

16. 我们将继续坚持走和平发展道路，推动构建人类命运共同体，为世界和平与发展作出新的更大贡献。

17. 我们将继续坚持党的全面领导，坚持和完善中国特色社会主义制度，推进国家治理体系和治理能力现代化，确保党和国家长治久安。

18. 我们将继续坚持以人民为中心的发展思想，不断满足人民日益增长的美好生活需要，实现全体人民共同富裕。

19. 我们将继续坚持生态文明建设，推动绿色发展，促进人与自然和谐共生，建设美丽中国。

20. 我们将继续坚持文化自信，推动中华优秀传统文化创造性转化、创新性发展，建设社会主义文化强国。

21. 我们将继续坚持总体国家安全观，维护国家主权、安全、发展利益，确保国家长治久安。

22. 我们将继续坚持全面从严治党，深入推进反腐败斗争，确保党始终成为中国特色社会主义事业的坚强领导核心。

23. 我们将继续坚持党的基本路线，坚持四项基本原则，坚持改革开放，不断解放和发展社会生产力，实现国家现代化，实现人民共同富裕。

24. 我们将继续坚持走和平发展道路，推动构建人类命运共同体，为世界和平与发展作出新的更大贡献。

25. 我们将继续坚持党的全面领导，坚持和完善中国特色社会主义制度，推进国家治理体系和治理能力现代化，确保党和国家长治久安。

26. 我们将继续坚持以人民为中心的发展思想，不断满足人民日益增长的美好生活需要，实现全体人民共同富裕。

27. 我们将继续坚持生态文明建设，推动绿色发展，促进人与自然和谐共生，建设美丽中国。

28. 我们将继续坚持文化自信，推动中华优秀传统文化创造性转化、创新性发展，建设社会主义文化强国。

29. 我们将继续坚持总体国家安全观，维护国家主权、安全、发展利益，确保国家长治久安。

30. 我们将继续坚持全面从严治党，深入推进反腐败斗争，确保党始终成为中国特色社会主义事业的坚强领导核心。